



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

Service de la  
protection de  
l'environnement

Environmental  
Protection  
Service

---

# L'aménagement des services publics dans les régions nordiques

Actes du symposium  
tenu les 19, 20 et 21 mars 1979  
à Edmonton

---

Analyse économique et technique  
Rapport EPS 3-WP-80-5F

Direction générale de la lutte contre la pollution de l'eau  
Septembre 1982

## **LES RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT**

Les rapports d'analyse économique et technique font le point sur l'état des connaissances, présentent des études bibliographiques et des inventaires industriels et comportent des recommandations afférentes, dans la mesure où celles-ci n'impliquent aucune recherche expérimentale. La préparation des rapports peut être confiée soit au personnel du Service de la protection de l'environnement, soit à des entreprises ou organismes dont il sollicite les services.

Le Service publie nombre d'autres rapports dans les collections suivantes : Règlements, codes et méthodes d'analyse, Politique et planification, Développement des techniques, Surveillance, Exposés et mémoires soumis à des enquêtes publiques, Évaluation des incidences sur l'environnement et Guides de formation.

Pour tout renseignement, prière de s'adresser au Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Hull (Québec), Canada, K1A 1C8.

## **ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE REPORT SERIES**

Economic and Technical Review Reports relate to state-of-the-art reviews, library surveys, industrial inventories, and their associated recommendations where no experimental work is involved. These reports will either be undertaken by an outside agency or by the staff of the Environmental Protection Service.

Other categories in the EPS series include such group as : Regulations, Codes and Protocols; Policy and Planning; Technology Development; Surveillance; Training Manuals; Briefs and Submissions to Public Inquiries; and Environmental Impact and Assessment.

Inquiries pertaining to Environmental Protection Service Reports should be directed to the Environmental Protection Service, Department of the Environment, Hull, Québec, Canada, K1A 1C8.

0027062D S

7010555I M

Hz 196823

# L'aménagement des services publics dans les régions nordiques

Actes du symposium  
tenu les 19, 20 et 21 mars 1979  
à Edmonton

Parrainage :

Environnement Canada

Service de la protection de l'environnement

Direction générale de la pollution des eaux

Sous-section de la technologie nordique

et

Université de l'Alberta

Département du génie civil

Compilation :

Daniel W. Smith (Université de l'Alberta)



Rapport EPS 3-WP-80-5F

TD

420

C 3.614

Environnement Canada

No. 80-5F

DREI

Publication distribuée  
par le Service de la protection de l'environnement  
Ministère de l'Environnement  
Hull  
K1A 1C8

Édition française de  
*Utilities Delivery in Northern Regions*  
préparée par le Module d'édition française  
Ministère de l'Environnement



Rapport EPS 3-WP-5F  
Imprimé par le ministère des Approvisionnements et Services  
N° de catalogue : EN 43-3/80-5F  
ISBN : 0-662-91681-6



Ministre des Approvisionnements et Services  
1982

### AVIS DE RÉVISION

Les textes et renseignements contenus dans le présent rapport sont publiés tels qu'ils ont été présentés par les conférenciers à l'occasion du symposium. Nous n'avons aucunement modifier les documents, sauf dans le cas d'erreurs ou d'anomalies évidentes, ou encore pour des raisons de facilité de lecture. Toutes les déclarations et opinions paraissant dans ce rapport sont celles des conférenciers; elles ne sont ni approuvées ni rejetées par le Service de la protection de l'environnement ou le département de génie civil de l'Université de l'Alberta. La mention de marques de commerce ou de produits commercialisés ne constitue ni une approbation ni une recommandation d'emploi.

## FOREWORD

Development and improvement of water distribution systems, wastewater collection systems and solid waste collection systems has been proceeding at a very rapid rate in recent years. Credit for such advances must be directed to a number of factors : improved understanding of thermal conditions through research, improved construction materials, increased interest in design and construction control, and better dissemination of information on current techniques and on the performance of new approaches. The efforts of those in charge of design, construction and evaluation of these systems in northern regions must be acknowledged as a prime factor in the improved reliability of utility systems. Of course, the concern, interest and support of governmental and private agencies in providing capital and operating funds to improve the utility systems in northern communities has been the foundation of these developments. The process of identifying community system needs and phasing in adequate services is underway in the territories. However, a tremendous amount of work remains. Isolated locations in several provinces also have a long and costly utility system development process ahead before an adequate level of service can be claimed.

The objective of this meeting was to provide a discussion of approaches, techniques and materials suitable for northern utilities delivery systems. The program was divided into eight topic areas : utility programs, energy considerations, technology applications, fire protection in the north, operation and maintenance, heat tracing and thawing, computer applications and case studies. A total of 30 technical presentations were made and are included in this volume. The banquet address by Dr. Eb Rice, Department of Civil Engineering, University of Alaska, is also included.

Dr. Eb Rice's presentation entitled "Building the North" provided a highlight to the symposium and is gratefully acknowledged. The Banquet Master of Ceremonies, Mr. John Mar, Director of the Northwest Region, Environmental Protection Service is also greatly appreciated. Dr. J.D. Salloum, for his opening remarks, as well as the sessions moderators, Messrs. P. Given, S. Hrudey, W.L. Ryan, G.W. Heinke, A.D. Squires, P.H. Bouthillier, J. Benner, N. Lawrence and J. Scribner are extended a special thank you for their assistance. In addition, the assistance of the staffs of the Northern Technology Unit and the Department of Civil Engineering, University of Alberta is acknowledged. Last, the efforts of the Publications Section, Water Pollution Control Directorate, in particular Ms V. Jones, are acknowledged for producing this document.

D.W. SMITH

## AVANT-PROPOS

Depuis quelques années, on assiste à un progrès très rapide dans le domaine du développement et du perfectionnement des systèmes d'adduction d'eau, de collecte des eaux usées et de ramassage des déchets solides. Ce progrès résulte de plusieurs facteurs : meilleure compréhension des conditions thermiques grâce à la recherche, amélioration des matériaux de construction, intérêt accru pour le contrôle de la conception et de la construction, meilleure diffusion de l'information concernant les techniques actuelles et les formules nouvelles. La fiabilité accrue des services publics dans les régions septentrionales est due aux efforts de ceux qui travaillent à la conception, la réalisation et l'évaluation des systèmes. Bien sûr, l'intérêt et le soutien qu'ont montré les organismes gouvernementaux et privés, en fournissant les capitaux et les fonds d'exploitation nécessaires, ont été à l'origine de ces développements. Déjà, le processus visant à déterminer les besoins de la population et l'introduction progressive de systèmes appropriés sont avancés dans le Nord. Toutefois, un travail énorme reste à faire : dans bien des provinces, un programme d'aménagement long et coûteux s'impose pour les localités isolées, afin d'offrir aux habitants un niveau adéquat de services.

Le symposium dont est tiré le présent rapport avait pour but de favoriser un échange d'idées sur les stratégies, techniques et matériaux adaptés aux services publics dans le Nord. Les discussions ont porté sur huit thèmes : Programmes d'aménagement de réseaux de services publics, Considérations énergétiques, Applications techniques, Prévention des incendies dans le Nord, Exploitation et entretien, Chauffage et dégel des canalisations, Applications informatiques, Études de cas. Trente exposés techniques ont été présentés au symposium et sont compilés dans le présent volume, qui comprend aussi l'allocution prononcée à l'occasion du banquet par le Dr Eb Rice, du département de génie civil de l'Université de l'Alberta.

Nous remercions le Dr Rice, dont l'exposé sur l'"Aménagement du Nord" a été l'un des faits saillants du symposium. Nous voulons également dire notre gratitude au maître de cérémonie pour le banquet, M. John Mar, directeur de la région du Nord-Ouest du Service de la protection de l'environnement. Nous remercions le Dr J.D. Salloum qui a prononcé les remarques d'ouverture, ainsi que les animateurs des sessions, MM. P. Given, S. Hruday, W.L. Ryan, G.W. Heinke, A.D. Squires, P.H. Bouthillier, J. Benner, N. Lawrence et J. Scribner. En outre, nous voulons remercier de leur aide, les membres de la Section de la technologie nordique et les participants du département de génie civil de l'Université de l'Alberta. Enfin, toute notre reconnaissance va à l'équipe du Module d'édition française d'Environnement Canada, à Montréal, qui n'a pas ménagé ses efforts dans le travail de révision, typographie et mise en page de la version française du présent rapport.

D.W. SMITH

## TABLE DES MATIÈRES

L'aménagement du Nord	1
D <sup>r</sup> Eb Rice (Université de l'Alaska)	
<b>1<sup>re</sup> séance</b>	
<b>Les programmes d'aménagement des services publics</b>	
Évolution de la politique et des programmes concernant l'eau et l'hygiène dans les Territoires du Nord-Ouest	4
Vern Christensen (gouvernement des T.N.-O.)	
Programme, conception et construction des services publics au Groenland	10
G. Rosendahl	
<b>2<sup>e</sup> séance</b>	
<b>Considérations énergétiques</b>	
Méthodes de conservation de l'eau et de l'énergie dans le Nord	17
J.J. Cameron et B.C. Armstrong, Environnement Canada	
Énergie électrique éolienne pour services sanitaires : étude de cas	63
M.A. Crawford (Ellerbe Alaska)	
et T.J. Bergin (Alaska Department of Environmental Conservation)	
Utilisation de l'eau de refroidissement d'une centrale électrique afin de chauffer le sol	75
T. McFadden et J. Buska (Alaskan Projects Office)	
<b>3<sup>e</sup> séance</b>	
<b>Applications techniques</b>	
Techniques propres à l'approvisionnement en eau et à l'aménagement sanitaire des localités du Nord	87
M.G. McGarry, T.J. Jackson, W. Rybczynski, A.V. White et A.P. Zimmerman	
Études sur la construction des réseaux de services publics dans les régions froides	95
M. Fielding (ministère de l'Environnement de l'Ontario)	
Township de Témagami : proposition d'aménagement des services publics dans les localités du Nord	98
B.J. Cooper (ministère de l'Environnement de l'Ontario)	
Évaluation critique des réseaux de canalisations souterraines, isolées et peu profondes, dans les Territoires du Nord-Ouest	104
F.W. James (gouvernement des T.N.-O.)	
Canalisations pré-isolées en polyéthylène à densité élevée : évolution d'un projet dans le Nord	135
A.D. Whyman (Dupont Canada)	
<b>4<sup>e</sup> séance</b>	
<b>Groupe de discussion sur la prévention des incendies dans le Nord</b>	
Introduction à la prévention des incendies dans le Nord	159
Gary W. Heinke (Université de Toronto)	
La prévention des incendies dans le Nord	160
Len Adrian (gouvernement des T.N.-O.)	
Observations sur la prévention des incendies dans les localités septentrionales éloignées	163
W.L. Ryan (Service de santé pour les Indiens)	
La prévention des incendies dans les localités isolées du Nord	166
R.G. Whatmough (Bureau du Commissaire fédéral des incendies)	

**5<sup>e</sup> séance****Exploitation et entretien**

- Exploitation et entretien des installations sanitaires dans les villages autochtones de l'Alaska . . . . . 168  
 Daniel R. Rogness (Alaska Area Native Health Service)
- Aide à l'exploitation, à l'entretien et à la gestion des installations sanitaires rurales . . . . . 173  
 J.W. Sargent (Alaska Department of Environmental Conservation)

**6<sup>e</sup> séance****Chauffage et dégel des conduites**

- Utilisation de l'effet de surface pour la protection contre le gel des réseaux de distribution d'eau . . . . . 180  
 Robert W. Tracey (Ricwill Incorporated)
- Chauffage électrique et conservation de l'énergie dans le cas des installations nordiques . . . . . 199  
 B.C. Johnson, R.K. Pitzer et G. Tarbutton  
 (Thermon Manufacturing Company)
- Dégel des canalisations d'eau . . . . . 215  
 R. Currey (Western Water and Sewer Supplies)

**7<sup>e</sup> séance****Applications informatiques**

- Emploi d'un modèle géothermique pour les projets de génie civil dans le Nord . . . . . 218  
 D. Kent et C.T. Hwang (EBA Engineering Consultants Ltd.)
- Analyse thermodynamique du réseau de distribution d'eau à Inuvik (T.N.-O.) . . . . . 229  
 J.A. Hull (Associated Engineering Services Ltd.)
- Réseaux de canalisations distributrices pour les localités de l'Arctique . . . . . 242  
 William James (Université de McMaster)

**8<sup>e</sup> séance****Études de cas**

- Un réseau d'alimentation en eau pour la plus au nord des localités  
 permanentes qui existent dans le monde . . . . . 253  
 T.M.Y. Chong et K.T. Mattes (Forces armées canadiennes)
- Une étude sur maquette pour régler les problèmes que pose l'amoncellement  
 de la neige à Baker Lake (T.N.-O.) . . . . . 271  
 K.M. Adam et R. Piotrowski (interdisciplinary Engineering Co.)
- Les systèmes de captage des eaux à Yellowknife . . . . . 280  
 J.R. Prentice et G.A. Srouji (Reid, Crowther and Partners Ltd.)
- Le développement urbain sur une grande échelle dans les régions subarctiques éloignées . . . . . 290  
 W.A. Robertson et R.L. Schreader (P & M Consultants, Inc.)
- Analyse de prototypes d'écoles rurales . . . . . 300  
 T.W. Livingston (Construction Systems Management Inc.)  
 et N. Kjeistad (Crews, MacInnes et Hoffman)

**9<sup>e</sup> séance****Études de cas**

- Systèmes modifiés d'égout commun à basse pression . . . . . 332  
 K.W. McAmmond (Service de santé de Sturgeon)
- Services d'eau et d'égout à Barrow (Alaska) . . . . . 327  
 Loren Hill (CH2M HILL)
- Nouvelles solutions pour les services d'eau et d'égout dans les zones de pergélisol :  
 Norman Wells, T.N.-O. . . . . 344  
 W.W. Irwin (M.M. Dillon Ltd.)



## L'AMÉNAGEMENT DU NORD

D<sup>r</sup> Eb Rice  
Département du génie civil  
Université de l'Alaska

L'un des buts de mon exposé est de démontrer que le Nord a beaucoup changé. Ce changement s'est produit de façon si radicale et si rapide qu'il est impossible de l'ignorer. Je me suis rendu compte récemment, à ma grande surprise, que j'étais dans le Nord depuis plus de 27 ans, ce qui m'a permis d'observer les énormes changements qui s'y sont produits. Les autochtones du Nord, nos clients, ont changé eux aussi : ils sont maintenant empreints d'un sérieux qu'ils n'avaient pas il y a quelques années. Le paternalisme dont faisait montre le gouvernement tend à disparaître, bien qu'il s'agisse là d'une évolution forcée. L'arrogance qui caractérisait les spécialistes venus du Sud pour visiter le Nord se retrouve maintenant du côté des jeunes villageois – vous l'avez tous remarqué. Parmi les délégués au présent congrès, trois au moins ont noté que la situation avait évolué. Les autochtones du Nord se sont découvert des forces nouvelles. Ils peuvent maintenant décider du cours des événements; ils peuvent engager (ou renvoyer) les spécialistes dont ils ont besoin. C'est là un bouleversement auquel on ne peut qu'applaudir, même s'il ne nous est pas toujours favorable.

La première fois que je suis allé dans le Nord, j'ai beaucoup voyagé : j'ai visité Inuvik, Point Barrow et de nombreux autres villages. Je me souviens qu'avant d'entreprendre un projet, on **informait** toujours la collectivité. On réunissait le conseil local et on présentait la proposition aux habitants qui écoutaient, impassibles. Parfois, **pour la forme**, on demandait aux villageois d'approuver les mesures. Je ne crois pas qu'ils aient eu un jour l'occasion de dire "non" (ou du moins qu'ils aient eu l'impression de pouvoir dire "non"). Avant de donner leur accord, ils se tournaient vers la personne la plus haut placée du village, le maître d'école très souvent. S'il hochait légèrement la tête en signe d'approbation, la réponse était "oui". Pour tout autre mouvement de la tête, la question restait temporairement sans réponse. À l'époque, je m'en souviens, cette coutume que vous avez probablement tous remarquée me paraissait regrettable. Or, à ma grande surprise, tout cela a changé au cours des dix dernières années. De nos jours, le maître d'école, dont l'autorité prévalait naguère au village, n'est souvent que "toléré". Il doit manifester une attitude respectueuse sinon soumise, et veiller à ne pas se faire remarquer. Le maître d'école, le représentant du gouvernement, le médecin, ont perdu leurs positions privilégiées d'antan. Les habitants du Nord n'ont plus la soumission et le respect qui les a longtemps caractérisés. Autrefois, ils semblaient se dire : "Les gens qui viennent du Sud ordonnent et décident. Nous n'y pouvons rien. Il ne nous reste donc qu'à accepter, à nous montrer courtois et effacés." La situation a bien changé : la timidité n'a plus cours et, dans certains cas, la courtoisie elle-même a disparu. Pour ma part, je suis plus enclin à me réjouir du changement qu'à le déplorer.

Ces transformations, qui devaient inévitablement se produire un jour, ont été déclenchées par l'*Alaska Native Claims Settlement Act* de 1971. Pour souligner un aspect de cette loi, qui vous aura peut-être échappé, je vais vous citer un extrait du livre de John MacPhee, *Coming Into the Country*. Cet ouvrage, au titre prometteur, est paru tout récemment. Vous l'avez peut-être lu, ou vous avez peut-être eu l'occasion de jeter un coup d'oeil sur les articles que MacPhee a publiés dans le *New Yorker*. Voici ce qu'il écrit :

Après la découverte de pétrole dans cette région en 1968, il devint évident qu'aucun pipe-line ne serait construit tant que les demandes territoriales des autochtones ne seraient pas définitivement réglées, à la satisfaction générale. Le Congrès américain, désireux de promouvoir l'économie, de protéger l'écologie et de répondre aussi diversement que possible à la demande soudaine touchant une partie du territoire national longtemps négligée, présenta sous forme d'une loi unique un imposant ensemble de mesures législatives, où les questions relatives au pipe-line n'occupaient qu'une place mineure. Bien après que la publicité entourant cette affaire se fût atténuée et que le pipe-line fût retombé dans l'oubli, les effets sociaux et politiques de cette loi devaient se faire profondément sentir. L'*Alaska Native Claims Settlement Act* allait concerner chaque individu, chaque groupe racial de l'Alaska. Aux termes de la loi, les autochtones acceptèrent un milliard de dollars et 40 millions d'acres de terre dont la majorité renfermait vraisemblablement de l'or, de l'argent et autres minéraux, du pétrole et du gaz. C'est ainsi qu'on mit fin à leurs réclamations. Ce règlement représentait peut-être le grand dédommagement final pour toutes les vexations subies par les autochtones au cours de l'histoire de l'Amérique. Plus qu'une simple tentative en vue de régler un titre de propriété, il allouait non seulement une somme en capital mais encore les intérêts de 20 décennies de culpabilité nationale. Collectivement, les autochtones de l'Alaska se trouvaient soudainement riches.

Vous tous qui êtes présents ici aujourd'hui, que vous soyez Canadiens ou Américains, savez que l'*Alaska Native Claims Settlement Act* a changé à jamais la vie du Nord. L'évolution, qui s'est probablement faite à l'avantage de tous, ne peut plus être mise en doute. Dans les années à venir, cette loi sera probablement reprise, d'une manière ou d'une autre, au Canada. On suivra la voie tracée par l'Alaska, et ce dans un avenir très prochain.

Les autochtones du Canada manifesteront alors l'arrogance, compréhensible mais blessante, qu'affichent aujourd'hui les autochtones de l'Alaska. Nous tous, qui travaillons en tant que concepteurs ou ingénieurs dans le Grand Nord, serons profondément touchés par ce changement d'attitude. Or nous sommes fiers de notre travail et possédons une arrogance bien à nous. Quand quelqu'un nous affirme : "Il est extrêmement difficile de construire un réseau d'eau courante et d'égout dans une région où le sol est continuellement gelé (et où il se transforme en boue, quand il dégèle)", nous répondons : Bien sûr, ce n'est pas facile, mais ce n'est pas impossible. Ces difficultés ne sont pas insurmontables." Et par fierté, nous nous engageons parfois dans des entreprises hasardeuses.

J'aimerais vous donner un exemple, qui ne relève pas directement de notre domaine mais qui concerne néanmoins la construction dans le Nord : celui des bâtiments militaires à Fort Yukon en Alaska. Ces bâtiments ont été construits sur pilotis, pour que le sol ne dégèle pas sous l'effet de la chaleur des planchers - ce qui détruirait les fondations. Les planchers inférieurs des bâtiments sont donc toujours froids, ce qui n'est pas très confortable. Les habitants (des militaires mutés pour un an), ont naturellement trouvé une solution à ce problème, comme vous et moi l'aurions fait. Ils installent des jupes de fondation pour que le vent ne puisse pas se glisser sous le bâtiment et refroidir les planchers. Tout le monde est satisfait, jusqu'au jour où arrive quelqu'un qui connaît son métier et qui explique au capitaine que les bâtiments vont s'effondrer si on n'enlève les jupes de fondation. Le capitaine est étonné, mais après une explication, il comprend que les fondations sont réellement menacées. On retire donc les jupes de fondation (qui sont coûteuses) et on les empile quelque part, à l'écart. Les villageois s'empressent de les récupérer, et cela fait 25 ans qu'ils isolent leurs maisons à l'aide de ces matériaux périodiquement mis au rebut.

Une faute a-t-elle été commise? Les ingénieurs sont-ils responsables? Les bâtiments sont bien conçus, les fondations sont solides, mais les occupants pensent que la construction laisse à désirer car les planchers sont froids. Et aussi longtemps que les planchers sont froids, les fondations sont en péril. Cet exemple présente une analogie avec notre propre façon d'agir : nous voulons fournir aux gens du Nord le confort moderne dont jouissent les habitants d'Ottawa, de Vancouver, de Victoria ou de Denver par exemple (ou même d'Anchorage). Il faut donc doter le Nord de systèmes d'eau courante, d'égouts et de toilettes avec chasse d'eau. Nous sommes si habiles dans notre métier d'ingénieur que nous pouvons fournir ces services même dans un environnement hostile où le sol, riche en glace, fond quand il dégèle. Nous pouvons le faire, nous l'avons fait à plusieurs reprises mais à un prix considérable.

Résultat : nous avons habitué les populations à utiliser de plus en plus d'eau, dans des régions où les précipitations sont parfois inférieures à 3 ou 4 pouces par an. Des calculs sommaires nous démontrent très vite que l'eau ne saurait tarder à manquer : il n'y a pas assez d'eau dans le Nord pour faire vivre plus qu'un groupe réduit si chacun a besoin de 100 gallons\* d'eau par jour, chiffre moyen de consommation des localités situées plus au sud. Il est donc évident que nous concevons actuellement des systèmes autodestructeurs. Comme ces militaires qui mettent en péril les fondations de leurs bâtiments en luttant contre le froid des planchers, nous mettons en péril nos réserves d'eau par une consommation abusive et ce de deux façons, car nous épuisons et polluons nos réserves. Je suis persuadé qu'avec un peu de réflexion nous pourrions trouver une autre voie d'approche.

Un autre aspect du problème, c'est que nous avons "la folie des grandeurs". Au cours des quelques dix dernières années, on a réalisé dans le Nord un certain nombre de projets grandioses qui convenaient mal à la région. Les villages ont été dotés d'installations sanitaires dont ils ne peuvent pas s'occuper - et qu'ils ne peuvent payer. Les tentatives en vue d'obtenir une aide financière et payer ces services n'ont pas toujours réussi; les efforts techniques relatifs à l'exploitation et à l'entretien ont souvent échoué. Par conséquent, certaines localités n'éprouvent plus que mépris pour les réalisations techniques dont nous sommes capables. Cette situation me peine profondément, car je n'aime pas qu'on manque de respect à l'endroit des ingénieurs. Mais les villageois ont raison de penser que beaucoup d'aménagements sont trop complexes et trop coûteux.

---

\* 100 gallons par habitant, par jour = 378,5 l/d par personne.

J'ai remarqué que les villageois entendent accroître leur participation aux décisions prises concernant leur collectivité et l'avenir de leur village. Les raisons en sont multiples. McGarry, Rogness et Scribner nous ont parlé du contrôle local, au cours du symposium. J'aimerais croire que leurs propos (et les commentaires qu'ils ont suscités), nous ont convaincus qu'il fallait insister sur cet engagement et ce contrôle au niveau local. Que cela nous plaise ou non, c'est au niveau des villages que se prendront les décisions à l'avenir, car les habitants du Nord sont maintenant riches et puissants. Les populations de l'Arctique canadien, à l'exemple de celles de la zone arctique de l'Alaska, vont accéder à la richesse et au pouvoir. Nous avons tout intérêt à accepter la situation : mieux vaut aller avec le vent que contre lui. J'ai entendu ici et là quelques commentaires, déplorant que nous ne puissions fournir à chacun des toilettes avec chasse d'eau de 4 gallons ainsi qu'un système d'eau courante chaude et froide. C'est ce que demandent actuellement certaines localités. Mais lorsqu'elles découvriront le prix à payer et les responsabilités à assumer, elles changeront probablement d'avis. Ceci se produit déjà en Alaska : les villages qui ont l'eau courante et le tout-à-l'égout (comme Bethel), demandent instamment qu'on cesse d'étendre les réseaux. Les habitants d'Inuvik ont compris depuis longtemps qu'il est inacceptable, pour une société libre, que l'eau courante, le chauffage central et le tout-à-l'égout soient réservés à un petit groupe de privilégiés (les représentants du gouvernement, en général). Ce genre de situation ne pourra plus se produire. Le paternalisme est appelé à régresser puis à disparaître dans le Nord — ce qui est assez ironique car il semble triompher partout ailleurs. Il fera surface dans la région d'ici une dizaine d'années mais entre temps, le Nord va s'imposer. J'en suis heureux et j'espère que vous partagez ce sentiment avec moi.

Nous faisons, en quelque sorte, marche arrière en introduisant dans le Nord une technologie fondée sur une consommation d'eau intensive, alors même que le Sud tente d'abaisser sa consommation d'eau. Le monde entier est menacé de pénurie et partout on tente de réduire les besoins en eau. Les techniques qui s'appuient sur une forte consommation d'eau sont maintenant jugées déraisonnables dans le Sud, où elles pourraient encore être justifiées. Et nous voudrions les mettre en oeuvre dans le Nord, qui ne se prête pas du tout à ce type d'aménagement!? Économiser l'eau s'impose bien davantage dans le Nord que dans le Sud. Il me semblerait regrettable d'aller ainsi à l'encontre du cours naturel des choses.

Je vais maintenant parler de l'avenir et je m'attends à ce que certains d'entre vous ne soient pas d'accord avec mes opinions. Je suis persuadé, pourtant, que les événements dont je vais parler vont se produire, que nous facilitions ou non leur dénouement. (Je suis d'avis que nous devrions le faciliter.)

Notre animateur a mentionné le fait que j'étais en Chine il y a quelques mois. J'y ai passé presque un mois et j'ai donné une série de conférences sur la technologie nordique. Les Chinois m'ont baptisé "Celui qui parle trop longtemps". De crainte de me voir attribuer ici ce sobriquet, je vais exposer brièvement mes prévisions pour l'avenir, qui sans doute ne plairont pas à tous.

Premièrement, nous ne pourrons plus demander aux collectivités de se charger de l'entretien de systèmes en grande partie conçus et planifiés sans qu'on les ait consultés. Deuxièmement, nous serons engagés et renvoyés par des villageois requérant nos services : ils seront nos clients et non plus nos protégés. Troisièmement, nous devrons souvent nous accommoder d'une solution beaucoup moins ambitieuse que celle qui est recommandée pour Edmonton, Ottawa ou Peoria (une utilisation massive de l'eau en tant que panacée universelle). Nous cesserons de croire que l'eau courante est la solution idéale et nous allons comprendre qu'un système de seaux hygiéniques peut être extrêmement moderne. Vivre avec le confort moderne ne veut pas forcément dire disposer d'un tout-à-l'égout. **Nous ne pourrons plus** mettre sur pied, pour les employés du gouvernement, des systèmes complexes et onéreux d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées qui ne desservent pas les autres citoyens. **Nous ne pourrons plus** traiter les habitants du Nord comme des enfants pour qui nous, les spécialistes, prenons les décisions. Ils ne sont pas à la charge de l'État : ce sont des clients.

Inévitablement, nous allons accentuer la vulnérabilité de ces populations. Prenons un exemple simple. Si on construit une centrale thermique pour chauffer et éclairer un village, sans installer de système de secours, les habitants se trouveront beaucoup plus démunis en cas d'incendie de l'usine que s'ils n'avaient jamais eu l'électricité. Nous devons donc concevoir des systèmes auxiliaires pour éviter ce genre de désastres.

Au cours des dix dernières années, trois localités de l'Alaska ont perdu leur centrale thermique - et donc les services publics qui y avaient été installés. Ces localités ne disposaient d'aucun système de secours. Il aurait été préférable pour elles de ne pas avoir l'eau courante; le désastre n'aurait été si complet. Je tiens à préciser que je ne m'en prends pas au confort moderne mais à la dépendance totale qu'on développe envers ce confort.

PREMIÈRE SÉANCE  
LES PROGRAMMES D'AMÉNAGEMENT DES SERVICES PUBLICS  
ÉVOLUTION DE LA POLITIQUE ET DES PROGRAMMES CONCERNANT L'EAU  
ET L'HYGIÈNE DANS LES TERRITOIRES DU NORD-OUEST

Vern Christensen, ingénieur  
Chef de la Section eau et hygiène, Division des affaires municipales  
Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

Pour situer historiquement l'évolution des programmes concernant l'eau et l'hygiène dans les Territoires du Nord-Ouest, il convient d'étudier brièvement le développement politique de la région.

Le premier Conseil des Territoires du Nord-Ouest fut établi en 1875, en vertu de la Loi sur les Territoires du Nord-Ouest. Il instaura un système gouvernemental autonome pour une grande partie du Canada, alors en voie de développement. Dès 1905, les régions qui forment maintenant le Manitoba, la Saskatchewan et l'Alberta étaient devenues des provinces. Pour le gouvernement alors en place, le reste du territoire (les actuels Territoires du Nord-Ouest), très peu peuplé, ne requérait guère d'attention.

Aucune loi ne fut passée et aucun autre Conseil territorial ne fut nommé jusqu'en 1921, année où l'on découvrit du pétrole à Norman Wells. Dans les années qui suivirent, les activités politiques du Conseil territorial restèrent très limitées : il n'avait alors qu'un rôle consultatif auprès du ministre des Mines et Ressources et ne s'occupait que de questions comme l'administration de la voie maritime Mackenzie-Grand Lac de l'Ours, l'aménagement d'aérodromes, la protection des ouvriers travaillant à l'extraction et au broyage de la pechblende, la réglementation de la vente des boissons alcoolisées et des activités minières.

Cette politique stipulait que le gouvernement fédéral paierait :

- 100 p. cent du coût en capital et des frais d'exploitation requis pour desservir ses propres installations, dont les bâtiments appartenant à la Couronne;
- 50 p. cent du coût en capital et des frais requis pour desservir les populations indienne et esquimaude — le reste étant payé par les collectivités, ou à partir de fonds de Bien-être social et Santé-Canada, si les collectivités étaient dans l'impossibilité de payer.
- 50 p. cent du coût en capital et des frais d'exploitation requis pour desservir les usagers ne relevant pas du gouvernement fédéral - là encore, le reste étant payé par les usagers, ou à partir des fonds territoriaux si les usagers étaient dans l'impossibilité de payer.

Il était prévu que chaque usager paierait les installations de plomberie à l'intérieur de sa maison, ainsi que le branchement particulier lorsqu'existant un réseau d'adduction.

Quels que fussent ses mérites, la politique de 1962 se révéla totalement impossible à appliquer. On ne put mener à bien le projet pour diverses raisons : il était difficile de distinguer entre les différents groupes ethniques (Blancs, Indiens, Métis et Esquimaux); presque toutes les collectivités étaient incapables de payer ne serait-ce qu'une petite partie des coûts; l'administration des accords de partage des coûts posait des problèmes complexes. On réalisa cependant quelques améliorations : réseau de canalisations à Hay River et transport par véhicule dans la région située au nord du district Mackenzie, par exemple.

On nota une tendance en apparence constante touchant le transport par véhicule durant cette période.

Ce n'est qu'en 1951, quand des amendements à la Loi sur les Territoires du Nord-Ouest permirent à trois membres élus de siéger au Conseil territorial, que le gouvernement fédéral comprit quelles perspectives d'avenir les Territoires offraient. À partir de cette date, le Conseil territorial et le gouvernement du Canada se montrèrent résolus à favoriser l'évolution du système gouvernemental autonome ainsi que le développement social et économique de la région.

Vers 1960, on comprit qu'une population en parfaite santé était un élément essentiel au succès du développement social et économique. Or, la majorité des localités des Territoires du Nord-Ouest étaient desservies par des services d'eau et d'hygiène extrêmement rudimentaires et inefficaces. Des maladies telles l'hépatite, la gastro-entérite, la typhoïde et la dysenterie sévissaient périodiquement dans la région, sans qu'on puisse les enrayer. Il était clair que l'aide du gouvernement était nécessaire à l'amélioration des services d'eau et d'hygiène dans les Territoires du Nord-Ouest.

La première politique officielle fut élaborée en 1962 par le Comité interministériel sur les relations financières entre le gouvernement fédéral et le gouvernement territorial. Cette politique visait uniquement les collectivités non organisées (et non les collectivités érigées en municipalités).

En bref, la politique de 1962 reconnaissait que, si les petites localités du Sud pouvaient résoudre leurs problèmes d'eau et d'égout en captant l'eau souterraine, en utilisant des fosses septiques, des lits d'absorption et des puits perdus, les petits villages du Nord, eux, ne le pouvaient pas. En effet, par suite des conditions physiques et climatiques, il fallait des investissements considérables dans le Nord pour assurer une réserve adéquate d'eau et un service d'hygiène acceptable, pour chaque résidence et pour la collectivité toute entière. Les coûts d'amortissement des immobilisations étaient pratiquement égaux, voire inférieurs, aux coûts mensuels d'exploitation. On modifia donc la formule de partage des coûts : on décida que le gouvernement fédéral, ou le gouvernement territorial, prendraient en charge les coûts en capital des nouveaux services par véhicule, aussi longtemps que cette participation, amortie mensuellement, ne dépasserait pas les coûts mensuels d'exploitation. Ceux-ci devaient être payés, autant que possible, par les usagers.

Pour les services par canalisations, il était évident que les coûts en capital, amortis mensuellement, dépasseraient les coûts mensuels d'exploitation. Dans le cas de ces services (dont l'exploitation est plus économique), on révisa la politique de manière que le gouvernement fédéral finance à 100 p. cent les grandes installations, le gouvernement territorial étant responsable de la "mise en valeur locale", c'est-à-dire de la distribution d'eau par canalisations et du ramassage des ordures.

On remarqua également que les intérêts fédéraux prédominaient dans les régions au nord de la ligne d'arborescence, la population étant composée en majeure partie d'Esquimaux et de fonctionnaires qui relevaient du gouvernement fédéral aux termes de la politique de 1962. Au sud de la ligne d'arborescence, par contre, les intérêts territoriaux l'emportaient - en dépit des responsabilités importantes du ministère des Affaires indiennes et du Nord. Pour éliminer les problèmes administratifs de la politique de 1962, on procéda à des révisions, conférant la responsabilité des coûts en capital au gouvernement fédéral pour les projets au nord de la ligne d'arborescence, au gouvernement territorial pour les projets au sud de cette ligne. Le budget d'exploitation et d'entretien restait, le cas échéant, entièrement à la charge du gouvernement territorial pour toutes les localités des Territoires du Nord-Ouest.

Comme beaucoup d'habitants étaient incapables de payer ne serait-ce qu'une infime partie du coût des services d'eau et d'hygiène, on modifia la politique et on décréta que le ramassage des ordures domestiques, en sac ou dans des seaux hygiéniques, serait gratuit. L'existence de vastes zones non desservies par les services publics posait des problèmes d'hygiène intolérables. Le concept des "installations centrales" avait été essayé autrefois, mais sans succès. Jugeant cependant qu'un service central d'eau avait des chances de réussir, on révisa la politique en 1967 pour installer des points d'eau gratuits, accessibles à tous ceux qui ne pouvaient pas (ou ne voulaient pas), payer un service de livraison.

En plus de ces deux services de base, qui étaient gratuits, on mit au point un système de transport par véhicule pour la livraison de l'eau et le ramassage des ordures, pour les usagers qui voulaient et pouvaient payer. Certains habitants, qui s'accommodaient déjà très bien du service gratuit de collecte des ordures, voulaient et pouvaient payer un service minimal de livraison d'eau. Ils purent se faire livrer jusqu'à 680 litres d'eau par semaine et par habitation, au tarif mensuel nominal de cinq dollars. D'autres, qui vivaient dans des maisons équipées de systèmes sous pression et de réservoirs de collecte des eaux d'égout - et qui désiraient tous les avantages du confort moderne - durent payer un tarif différentiel pour le transport par véhicule (eau et égout). La participation de ceux qui avaient la chance de se trouver dans une région desservie par un réseau de canalisations fut établie au prorata des coûts d'exploitation et d'entretien.

Cette nouvelle politique avait un but implicite : dans la mesure du possible, les systèmes devaient être exploités par les autorités locales, qui devaient percevoir tous les revenus et assurer le service jusqu'à ce que le titre de propriété des installations soit cédé, pour une somme nominale, à la collectivité dûment constituée en municipalité.

Les dispositions législatives de la nouvelle politique de 1967 furent modifiées de façon à inclure tant les collectivités constituées en municipalités que les collectivités non organisées.

Avant 1967, les municipalités recevaient des "fonds extraordinaires" du gouvernement fédéral les aidant à obtenir des services analogues à ceux conférés, en vertu de la politique, aux collectivités non organisées, mais d'une manière un peu plus discrétionnaire, selon les besoins locaux.

En 1967, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, dont le siège officiel se trouvait jusqu'alors à Ottawa, est transféré à Yellowknife.

Après 1967, l'ancien accord financier de 5 ans entre le gouvernement fédéral et le gouvernement territorial fut abandonné en faveur d'un contrat de 2 ans, puis d'un contrat d'un an, avec transfert croissant des responsabilités fédérales au gouvernement territorial. La politique devient confuse, donc difficile à appliquer.

La politique de 1967 ne prévoyait pas du tout l'impact qu'aurait sur les services d'eau et d'hygiène le Programme de logements de location dans le Nord mis en oeuvre par le gouvernement fédéral en 1965. Or ce programme allait fortement influencer sur la demande et le financement de meilleurs services d'eau et d'hygiène, partout dans les Territoires.

Le système des points d'eau accessibles à tous les usagers d'une zone résidentielle (service minimum), se révéla impossible à mettre en oeuvre, dans la plupart des cas, sur le plan opérationnel. Ce concept fut donc abandonné. Le service minimum de collecte des eaux d'égout se révéla insuffisant. Les habitants jetaient les eaux usées autres que les eaux usées domestiques directement à l'extérieur des habitations. De plus, le ramassage des ordures mises en sac posait de nombreux problèmes. Il se produisait donc périodiquement des épidémies d'hépatite, de gastro-entérite, de dysenterie bacillaire et la mortalité infantile était très élevée.

Dans la majorité des localités, il était difficile de maintenir des conditions sanitaires adéquates à l'intérieur et à l'extérieur des habitations, l'approvisionnement en eau étant insuffisant et l'équipement de livraison d'eau inadéquat.

La politique de 1967 ne fournissait pas de solution aux problèmes que posait l'évaluation du coût des services pour les systèmes onéreux d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées. La majorité des usagers étaient toujours incapables, ou peu désireux, de payer le total des coûts d'exploitation. Même là où il semblait économiquement faisable d'installer des réseaux de canalisations pour réduire le coût global, il était souvent impossible de récupérer auprès des usagers le total des coûts en capital. Certains ne pouvaient même pas payer le branchement particulier.

La politique de 1967 ne comprenait aucune disposition sur le ramassage des ordures, qui est un service d'hygiène primordial pour une collectivité. C'était pourtant là un problème crucial pour les administrateurs gouvernementaux.

Enfin, la politique de 1967 ignorait les problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets. Or depuis lors, ces problèmes ont pris une importance croissante, aux yeux des gouvernements territorial et fédéral.

Une refonte totale de la politique de 1967 fut entreprise à l'automne 1972 car il était prévu, au départ, qu'un nouvel examen serait fait après cinq ans. Durant cette période, on avait considérablement amélioré les services d'eau et d'hygiène. Cependant, les résultats restaient minimes sur le plan général, à cause d'une insuffisance de fonds et des raisons mentionnées plus haut. On avait investi environ \$800 000 par année en immobilisations - somme très modeste par rapport au coût extrêmement élevé de l'aménagement de services d'eau et d'hygiène dans les Territoires du Nord-Ouest.

Une troisième version de la politique fut mise au point au cours de 1973. Après une étude approfondie, on présenta finalement un programme en 11 ans qui reçut l'approbation du Conseil du Trésor en septembre 1974. Ce programme ne garantissait pas des fonds suffisants, mais il semblait être une tentative sincère de la part du gouvernement pour régler, une fois pour toutes, les problèmes d'eau et d'hygiène.

La politique de 1974 définissait mieux le niveau des services devant être fournis (y compris le ramassage des ordures). Elle reconnaissait que, dans les collectivités où l'assiette fiscale était inexistante, les habitants ne pouvaient payer la part des coûts en capital qui leur revenait pour les services par canalisations. Elle établissait un nouveau barème des prix aux consommateurs, qui correspondait mieux aux possibilités financières des habitants. Elle plaçait l'entière responsabilité de la mise en oeuvre du programme entre les mains du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.

Prenant la population comme facteur de base, on suggéra des niveaux minimaux de services d'eau et d'hygiène, allant d'une absence complète de services pour les localités de moins de 50 habitants à des services complets par canalisations pour les localités de plus de 700 habitants.

Le niveau minimal de service fut ainsi défini : ramassage des ordures liquides en sac quatre fois par semaine, pompage hebdomadaire des ordures liquides et ramassage hebdomadaire des ordures solides.

On classa les localités par catégories, selon qu'elles avaient ou non une assiette fiscale, afin d'établir leur admissibilité au financement. Les Territoires du Nord-Ouest considèrent maintenant que les localités constituées

en village ou en ville, assujetties à l'impôt, peuvent vivre de leurs propres ressources - contrairement aux collectivités qui n'ont que le statut de hameau ou d'établissement de population.

On décréta que dans les collectivités assujetties à l'impôt, le gouvernement territorial financerait totalement les dépenses en capital des réseaux de canalisations d'eau et d'égout, hormis les branchements latéraux et particuliers. À l'exception d'une subvention partielle pour les services de livraison d'eau par camion, ces collectivités devraient facturer aux usagers les coûts d'exploitation.

Dans les collectivités non imposables, le gouvernement territorial paierait le total des coûts en capital, ainsi que les pertes provenant de l'exploitation des systèmes d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées (y compris les branchements latéraux dans le cas de systèmes par canalisations). Il financerait également les immobilisations et l'exploitation d'un service de ramassage des ordures. Mais en dépit de tous les efforts, la politique de 1974 présentait encore certaines failles.

Le processus qui permettait de déterminer quel niveau de services apporter à une collectivité était quelque peu simpliste et n'incitait pas toujours à un choix économique. Des efforts en ce sens avaient été faits lors de la formulation de la politique de 1974 : on tenta de mettre sur pied un programme informatisé pour simuler et évaluer les divers systèmes possibles pour une collectivité donnée. Malheureusement, ce projet fut abandonné alors qu'il n'était encore qu'au stade de l'ébauche.

Par ailleurs, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest n'avait aucune structure centrale qui put développer et appliquer un programme précis et stimulant d'amélioration dans les Territoires. C'est au début de 1976 que fut mise sur pied la Section eau et hygiène, relevant du gouvernement local.

Des modifications sont maintenant apportées en permanence à la politique concernant les services d'eau et d'hygiène pour mener à terme ce programme de développement.

La politique est restée très généreuse, mais elle définit plus précisément les niveaux acceptables de services à partir d'une évaluation économique complète des diverses possibilités dans ce domaine. Les petites localités du Nord ne sont plus encouragées à exploiter et à entretenir elles-mêmes leurs installations d'eau et d'égout, car on a finalement reconnu que les problèmes causés par un entretien inadéquat et des pannes répétées étaient trop grands. Seules les localités assujetties à l'impôt doivent assurer ce genre de service.

De plus, on a considéré que le ramassage et l'élimination des ordures faisaient partie des activités prioritaires liées à l'aménagement sanitaire et nécessitaient des améliorations significatives dans certaines localités.

La politique, qui est soumise à une révision constante, comme nous l'avons expliqué, est maintenant appuyée de manière à produire des résultats substantiels. Des travaux d'environ \$13,5 millions seront entrepris au cours du présent exercice financier, et une égale contribution est prévue pour l'exercice suivant.

On croit donc que le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest en arrive finalement à une politique réaliste concernant l'eau et l'hygiène, qui est adaptée aux conditions sociales et économiques des Territoires.

Il est certain que les versions précédentes de la politique ont eu de bien médiocres résultats, par suite d'un manque de fonds et en raison de la nature même des politiques. Mais il faut noter que les progrès ont été freinés par d'autres facteurs réhibitoires, dont certains ont maintenant un impact plus limité.

Dans les premières années de mise en oeuvre du programme, les ingénieurs n'avaient guère l'expérience des problèmes propres aux collectivités du Nord. Le climat étant rigoureux et les conditions du sol peu connues, on procédait souvent par tâtonnements pour concevoir les services d'eau et d'égout, ce qui donnait des systèmes défectueux d'une vie utile extrêmement courte. Le manque de fonds compliquait les problèmes, les concepteurs ayant tendance à se montrer moins conservateurs pour réduire les coûts.

De plus, il était difficile de se documenter sur le génie dans le Nord car les entrepreneurs négligeaient le plus souvent de tenir des dossiers sur la conception et la réalisation de leurs projets. On vivait alors une époque pionnière en matière de conception des systèmes d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées, ce dont n'avait pas conscience la plus grande partie de la population.

On peut cependant entrevoir le début d'une ère nouvelle. En effet, divers organismes réunissent actuellement tous les documents technogéniques existants pour produire un manuel de conception des systèmes d'eau et d'égout dans les régions du Nord. Les organismes qui collaborent à ce projet sont les suivants : Division des projets, Département des Travaux publics (T.N.-O); Sous-section de technologie nordique, Environnement Canada; Department of Environmental Conservation of the State of Alaska; U.S. Cold Regions Research and Engineering Laboratory and Artic Environmental Research Station of the U.S. Environmental Protection Agency. Il est possible de se procurer les documents existants en s'adressant au Service de la protection de l'environnement, à Ottawa.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Manuel d'aménagement des réseaux de services publics en climat froid, rapport EPS-3-WP-79-2F

Entre temps, le Département des Travaux publics du gouvernement des T.N.-O. normalise la conception de certains éléments - points de remplissage des véhicules, véhicules de distribution d'eau, camions d'enlèvement des eaux usées, etc. De plus, cet organisme a préparé un guide général sur les études de préparation à la conception des systèmes de distribution d'eau et de collecte des eaux usées. Ce guide, financé en vertu de la politique, énonce les critères généraux et les hypothèses acceptables pour la conception, et il élabore une méthode de comparaison des coûts pour les divers systèmes possibles et des formules détaillées d'analyse des systèmes qui utilisent le transport par véhicule.

Le boom économique que connut le sud du Canada à la fin des années 60 et au début des années 70 n'arrangea pas les choses pour le Nord. Il était difficile d'inciter les entrepreneurs à faire des soumissions pour les projets de construction : le Nord présentait des facteurs impondérables et le Sud ne manquait pas de travail. Il n'était pas rare de recevoir une seule soumission pour un projet, car les entreprises n'étaient pas vraiment intéressées. Les entrepreneurs pouvaient pratiquement exiger le prix qu'ils voulaient. Résultat : les coûts accusaient une hausse considérable et le prix final d'un projet était souvent supérieur de 75 p. cent au devis.

De nos jours, heureusement, la situation s'est remarquablement améliorée : il y a beaucoup plus de travail dans les Territoires du Nord-Ouest, et le Nord n'est plus cette mystérieuse terre "inconnue" qu'elle était il y a encore quelques années.

Les mauvaises conditions de logement dans les localités du Nord étaient - et restent - un obstacle majeur à l'amélioration des services d'eau et d'hygiène. Même lorsque les réserves en eau sont adéquates, les conditions de stockage dans les habitations font qu'il est souvent impossible aux familles de respecter les conditions élémentaires d'hygiène. La situation ne fait qu'empirer quand les habitations sont surpeuplées.

On a cependant réalisé d'importantes améliorations dans ce domaine. La Société de logement des Territoires du Nord-Ouest, qui administre maintenant le Programme de logements de location dans le Nord (lancé en 1965 par le gouvernement fédéral), mène une politique très dynamique de construction et de réfection. Depuis 1974, toutes les nouvelles maisons sont équipées d'un réservoir d'eau d'une capacité minimale de 250 gallons; la plupart des habitations ont des réservoirs de collecte des eaux usées de 400 gallons. Il est clair que la méthode du ramassage des eaux usées en sacs est appelée à disparaître.

Le manque de recherches sur le plan éducatif fut par ailleurs un obstacle constant aux progrès. Il faut, en effet, des efforts considérables pour faire comprendre aux habitants des petites localités du Nord les raisons et les méthodes de gestion d'un système adéquat de collecte et d'élimination des ordures.

Deux projets sont maintenant en cours pour remédier à cette situation. Le premier, préparé avec la collaboration du Service de la protection de l'environnement (Gestion des déchets solides), à Ottawa, vise la réunion d'une série de diapositives accompagnées d'un commentaire expliquant, en termes simples, la gestion des déchets solides. Ce document audio-visuel est destiné aux conseils locaux, aux écoles et aux groupes communautaires intéressés ainsi qu'au grand public.

Le deuxième vise la publication d'un manuel sur la gestion des déchets solides, à l'intention des administrateurs et des responsables de la collecte des ordures. Ce manuel expliquera pourquoi un bon programme de gestion est important, présentera les diverses possibilités et décrira en détail la "méthode améliorée de remblayage" telle qu'on devrait la pratiquer dans les diverses régions des Territoires du Nord-Ouest.

Tel qu'indiqué plus haut, on considère qu'il est prioritaire d'optimiser la conception des services d'eau et d'hygiène en termes de coût et d'efficacité. On prépare actuellement deux études importantes à ce sujet.

Tout d'abord, en collaboration avec la Sous-section de la technologie nordique à Environnement Canada, le Département du gouvernement local (T.N.-O.) a étendu et perfectionné le programme informatisé d'eau et d'hygiène, amorcé par la politique de 1974. Le programme, conçu au départ comme un outil pour évaluer les diverses ramifications de la politique de l'eau et de l'hygiène, visera l'optimisation des systèmes de distribution d'eau et de collecte des eaux usées par véhicule (conception et fonctionnement du système par opposition à son efficacité et à sa rentabilité).

Deuxième projet : une étude vient d'être terminée, de nouveau en collaboration avec la Sous-section de la technologie nordique, sur les techniques de pointe applicables dans le Nord dans le domaine de la conservation de l'eau.

Si on regarde vers le passé, on ne pouvait attendre des ingénieurs et des administrateurs du gouvernement qu'ils résolvent, du jour au lendemain, les multiples problèmes d'eau et d'hygiène dans le Nord. Le milieu leur était étranger, les politiques étaient inédites et les fonds insuffisants.

Éventuellement, l'évolution de la politique concernant l'eau et l'hygiène et l'accumulation progressive (bien que disparate), des connaissances techniques sur le Nord auront permis au gouvernement de mettre en oeuvre des programmes plus efficaces et de résoudre avec plus de confiance les nombreux problèmes. Mais la technique est loin d'être parfaite, ou même seulement en passe de le devenir.

En dépit des améliorations substantielles déjà accomplies, il faudra encore de six à huit ans pour que les services atteignent un niveau acceptable dans l'ensemble des Territoires, à condition bien sûr que les fonds restent suffisants. Quoi qu'il en soit, il est certain que nous sommes maintenant sur la bonne voie.

PREMIÈRE SÉANCE  
LES PROGRAMMES D'AMÉNAGEMENT DES SERVICES PUBLICS

PROGRAMMATION, CONCEPTION ET CONSTRUCTION  
DES SERVICES PUBLICS AU GROENLAND

Gunnar P. Rosendahl  
Greenland Technical Organization, Danemark

**INFORMATION GÉNÉRALE**

Un gouvernement autonome fut mis en place pour la première fois au Groenland le 1<sup>er</sup> mai 1979 et le gouvernement danois transféra alors aux assemblées groenlandaises certains pouvoirs législatifs et administratifs. Ce transfert marqua la fin d'un long processus d'évolution commencé peu après la Seconde Guerre mondiale, par lequel le Groenland, autrefois colonie, allait devenir une entité politique indépendante au sein du Danemark.

**L'après-guerre.** — Comme dans beaucoup d'autres parties du monde, des idées surgirent au Groenland après la Seconde Guerre mondiale, favorisant le développement de la région. Les communications avec le Danemark ayant été coupées, le Groenland s'était tourné vers les États-Unis et le Canada pour vendre sa cryolithe et ses produits de la pêche, accélérant ainsi le passage d'une économie de subsistance à une économie monétaire.

Les conséquences politiques de ce changement allaient se traduire par l'octroi de pouvoirs grandissants aux habitants du Groenland. Le parlement danois passa une série de lois, dans ce sens, au début des années 1950, puis accorda des subventions destinées à améliorer les conditions sociales au Groenland. Les secours du gouvernement permirent de développer les secteurs défavorisés : hygiène, éducation, logement, bien-être social, bâtiments commerciaux et industriels, infrastructures.

La population du Groenland était alors d'environ 23 000 habitants, établis principalement le long de la côte ouest dans de petites localités isolées. Les normes d'hygiène laissaient à désirer, la tuberculose sévissait et la pauvreté était grande. Les besoins étaient immenses : des appels politiques furent lancés, au Danemark et au Groenland, pour amener un changement que les Groenlandais ne pouvaient pas réaliser seuls, avec les ressources techniques sommaires dont ils disposaient.

Le gouvernement danois forma la Greenland Technical Organisation (GTO), qu'il chargea de fournir l'aide requise. Par la suite, cet organisme fut responsable de tous les travaux de développement technique effectués au Groenland. La GTO était composée d'un bureau central, dont le siège social se trouvait à Copenhague, et d'organisations locales réparties dans les villes du Groenland. Ses tâches allaient de la planification des investissements et de l'aménagement urbain, à la conception et à la construction des bâtiments et des installations techniques. La GTO était également responsable de l'exploitation et de l'entretien des usines construites.

**La période d'action concrète.** — Au cours des 15 premières années de son existence, la GTO mit l'accent sur l'action concrète. La plupart des projets de développement durent recourir à une main-d'oeuvre danoise, la force ouvrière locale, non spécialisée, restant indispensable aux industries traditionnelles du Groenland (pêche, chasse à la baleine et aux phoques).

Durant cette période, on mit en place l'infrastructure nécessaire à la construction de logements, d'hôpitaux, d'écoles, de services de bien-être social et de bâtiments industriels ou commerciaux. Les sections qui suivent décrivent les résultats de ces efforts en vue de l'aménagement de services adéquats d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées, de voirie et de sécurité incendie.

**La période de normalisation.** — Vers le milieu des années 1960, la population s'élevait à environ 40 000 habitants; la tuberculose était enrayée et les constructions immobilières et techniques les plus urgentes étaient achevées. Le taux d'accroissement de la population était alors l'un des plus élevés au monde. Il fallait donc envisager une époque où la main-d'oeuvre serait abondante et planifier une infrastructure technique qui permettrait le développement normal de la société groenlandaise.

Il fallait donc que la GTO normalise la construction et l'exploitation des bâtiments et des installations techniques, de telle sorte que les compagnies locales d'architectes et d'ingénieurs, d'entrepreneurs et d'artisans puissent exécuter un jour les projets nécessaires, la GTO étant alors responsable de coordonner la planification,

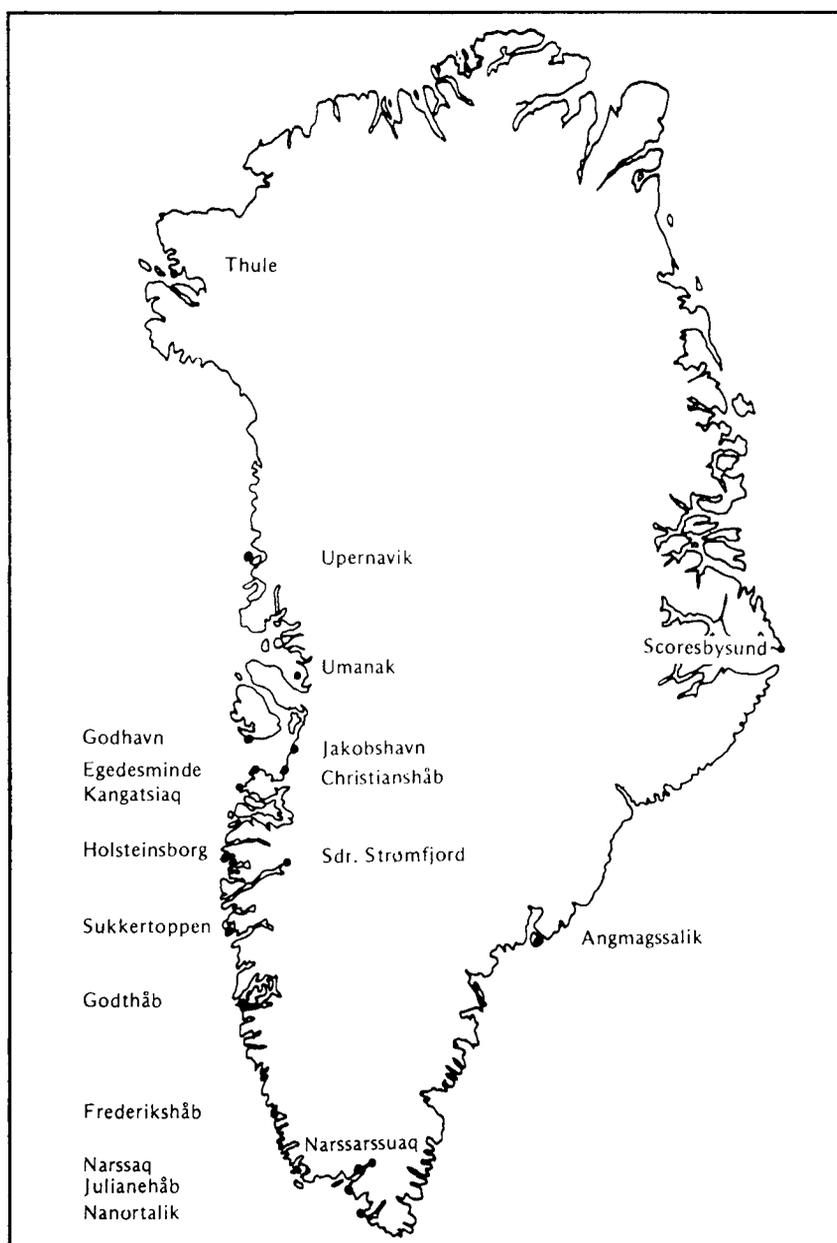


Figure 1 Localités du Groenland

la conception et la mise en oeuvre générales. Depuis, plus de 300 compagnies privées se sont établies dans le secteur technique; ces compagnies se chargent maintenant de presque tous les travaux de construction réalisés autrefois par la GTO et les entreprises danoises.

La collaboration avec les autorités locales s'intensifia profondément au cours de cette période; les assemblées populaires du Groenland s'engagèrent dans la planification de programmes d'investissement et de construction.

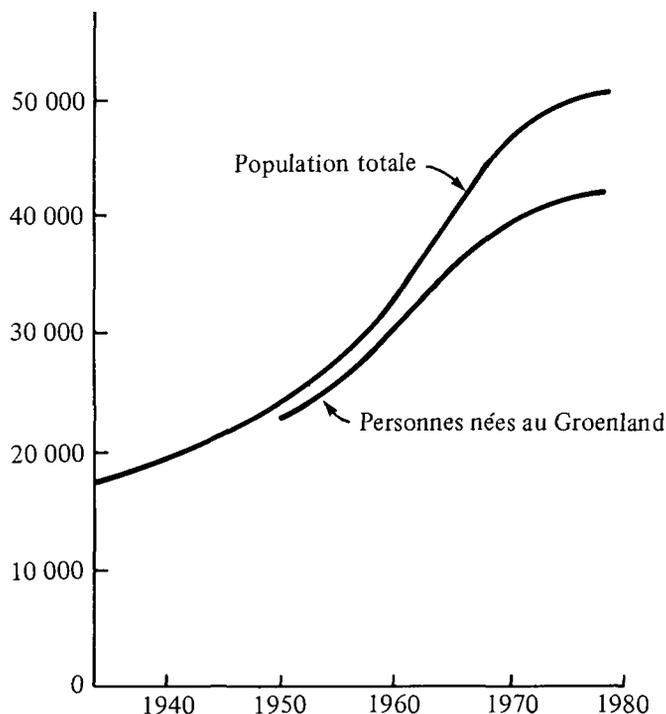


Figure 2 Essor démographique, 1940 à 1980

Les autorités locales étendirent le processus de normalisation en instituant des organismes administratifs techniques. Après un accord entre les politiciens danois et groenlandais, on établit l'échéancier selon lequel ces organismes techniques prendraient la relève de la GTO dans bon nombre de secteurs. En premier figuraient les services d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées, de voirie et de sécurité incendie.

**L'époque contemporaine.** — La présence au Groenland de la GTO sera vitale pendant un certain nombre d'années encore, en particulier pour l'administration des travaux et des services publics qui resteront du ressort du gouvernement central. Par ailleurs, la GTO conservera le rôle d'organisme de service pour le gouvernement futur et les autorités locales.

La GTO s'occupera de plus en plus de la formulation des règlements nationaux pour les opérations techniques au Groenland. Il faudra donc que le gouvernement assume diverses fonctions de surveillance dans les secteurs passant sous le contrôle des autorités administratives locales.

Enfin, l'une des tâches importantes de la GTO (pour le présent et l'avenir) est de contribuer à l'étude de la faisabilité des projets d'exploitation des minerais, du pétrole et des ressources hydrauliques. Parallèlement aux tâches purement techniques, la GTO s'occupe des études préliminaires sur les effets socio-économiques des grandes installations minières. Ce type d'installations provoque généralement l'essor des agglomérations existantes ou la création de villes nouvelles, et dans les deux cas la question des services techniques publics est vitale.

#### APPROVISIONNEMENT EN EAU

Jusqu'à 1950 environ, l'approvisionnement en eau se faisait manuellement à partir des lacs et des rivières; l'eau ne subissait aucun traitement (filtrage, chloration, etc.) Cependant, l'expansion urbaine prit de telles dimensions à cette époque que la situation sanitaire devint précaire, l'eau étant captée aux environs des localités, dans des endroits pollués.

Dès le milieu des années cinquante, on prépara des programmes d'expansion à long terme pour toutes les villes. On proposa d'étendre graduellement les services d'eau et d'électricité pour assurer aux localités, tout au long de l'année, un approvisionnement en eau d'une qualité acceptable sur le plan de l'hygiène.

**Captation de l'eau.** — Au Groenland, l'approvisionnement en eau se fait uniquement à partir de l'eau de surface. Par suite de la variété topographique, le pays a été divisé en plusieurs zones relativement petites pour le programme de captation de l'eau. Dans la plupart des villes, il faut donc relier entre elles plusieurs zones à l'aide de tranchées, tunnels, conduits gravitaires ou canalisations avec pompes.

À titre d'exemple, on trouvera à la figure 3 le schéma du système d'alimentation en eau de Godthab. Ce système se caractérise surtout par sa longue canalisation d'eau brute, qui est posée au-dessus du sol et qui emprunte trois tunnels pour éviter les stations de pompage.

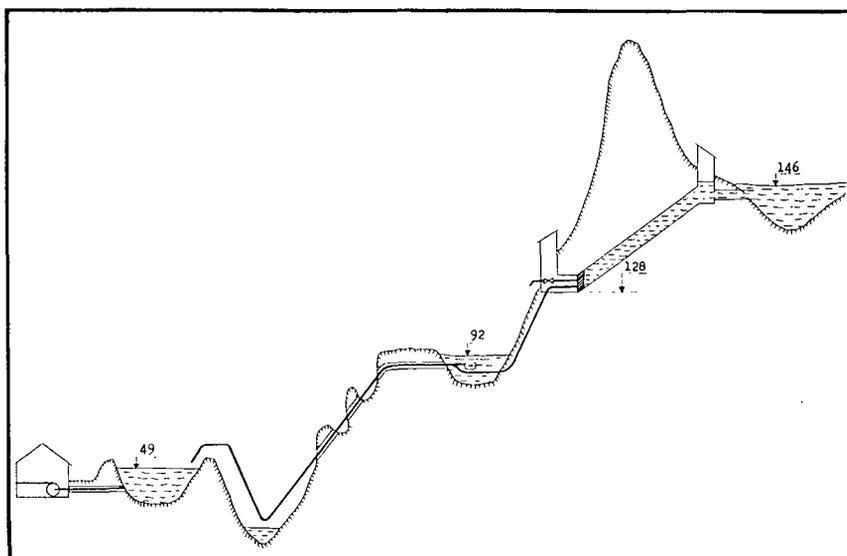


Figure 3 Schéma du système d'alimentation en eau de Godthab

À Godthab, où la captation de l'eau met en jeu l'écoulement continu de grandes quantités d'eau brute, il n'a pas été nécessaire d'équiper les canalisations de câbles chauffants. Les conduites ont été recouvertes d'un isolant en polyuréthane (expansé sur place) et d'une gaine en métal galvanisé.

Le matériau le plus couramment utilisé pour les conduites d'eau brute est la fonte ductile. En général, les conduites sont protégées du gel par deux câbles chauffants, posés avant l'isolant sur l'extérieur de la canalisation. Depuis quelques années, on utilise de plus en plus des tuyaux en polyéthylène à densité élevée, dans lesquels passe un seul câble chauffant.

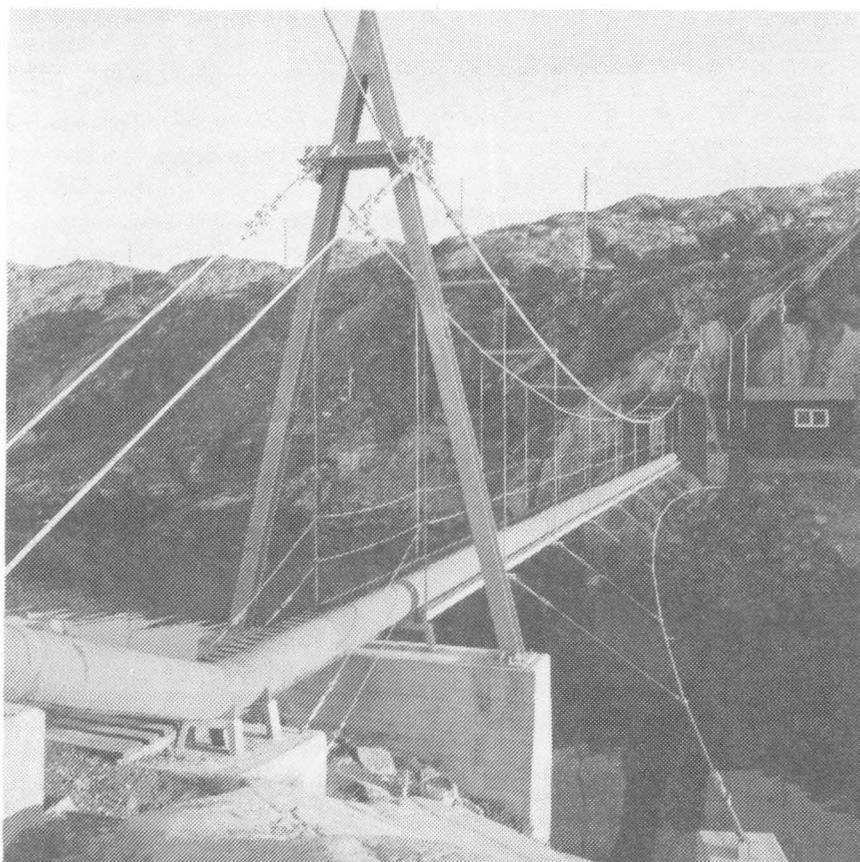


Figure 4 Conduite d'eau brute enjambant une rivière

Durant l'hiver, la plupart des sources des lacs et des rivières sont prises par la glace. La figure 5 montre la photo d'une source à Godhavn, à l'époque la plus froide de l'année. Sous la glace, cependant, l'eau continue à s'écouler suffisamment pour que la ville s'approvisionne directement au cours d'eau.

La pratique la plus courante est pourtant de capter et de stocker suffisamment d'eau pendant l'été pour subvenir aux besoins de la ville en hiver, soit pendant cinq à sept mois. Dans beaucoup de villes du Groenland, un réservoir de stockage a été construit à proximité de l'agglomération. La figure 6 montre le réservoir d'eau de Jakobshavn.

**Traitement de l'eau.** — L'eau de surface est très pauvre en sel et contient des matières organiques et des acides carboniques dangereux à la consommation. On fait donc subir à l'eau le traitement suivant : l'eau brute est tout d'abord oxydée; elle est ensuite désacidifiée par un apport d'hydroxide de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) et de carbonate de soude ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ); elle est alors filtrée minutieusement puis stérilisée avec de l'hypochlorite de sodium ( $\text{NaOCl}$ ).

Le contrôle quotidien de la qualité comprend une vérification du pH et du chlore résiduel.

De plus, des échantillons d'eau sont régulièrement prélevés pour des analyses chimiques et bactériologiques.



Figure 5 Source d'hiver à Godhavn

**Distribution de l'eau.** — La distribution constitue l'un des problèmes majeurs de l'approvisionnement en eau. Creuser le sol ou le dynamiter pour y poser des canalisations est très coûteux et seul un groupe restreint de consommateurs peut s'approvisionner à un réseau de canalisations, principalement ceux qui utilisent de grandes quantités d'eau comme les hôpitaux, les usines et les zones d'habitation composées de bâtiments à plusieurs étages. Au début des années 1950, on construisait les conduites d'eau au-dessus du sol, dans des utilidors protégés contre le gel par un isolant. Cependant, cette méthode présentait de nombreux inconvénients pour la planification urbaine. Actuellement, on construit presque uniquement des canalisations souterraines. Dans le sud du Groenland, où il n'existe pas de problèmes de pergélisol, les conduites sont installées en-dessous de la zone gelée, c'est-à-dire à une profondeur d'environ 2 m. Dans le nord, à cause du pergélisol, les canalisations doivent être isolées et protégées contre le gel.

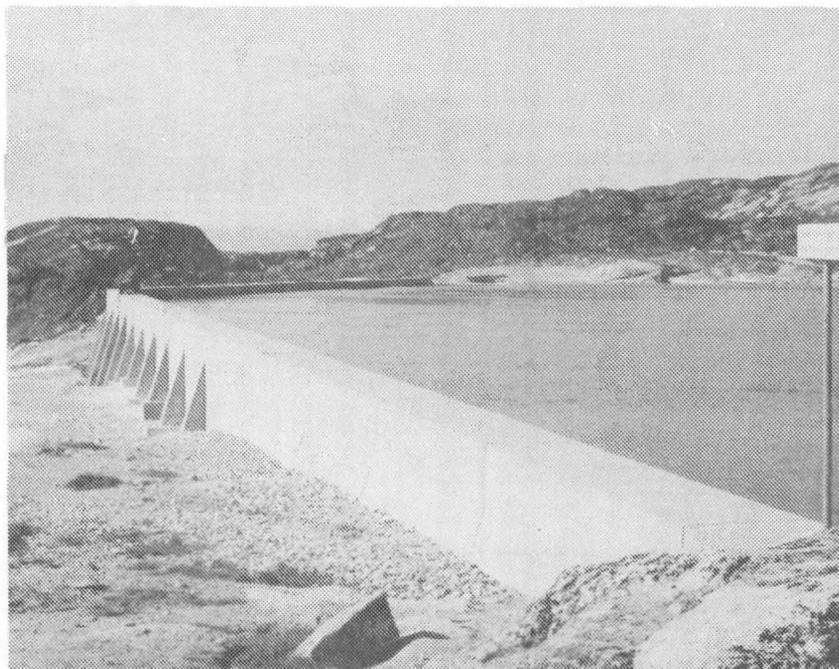


Figure 6 Réservoir de Jakobshavn, en été



Figure 7 Station d'épuration des eaux usées



Figure 8 Pose d'une canalisation souterraine de distribution d'eau

Le système de distribution est en général une composante fort onéreuse du réseau d'approvisionnement. Les canalisations qui desservent les rues d'une localité sont les composantes les plus vulnérables du système et celles qui échappent à une inspection et à un examen constants. Elles doivent donc être conçues et construites aussi soigneusement que possible, pour garantir une sécurité maximale de fonctionnement.

Au fil des années, on a consacré des efforts considérables à la conception de canalisations adaptées aux conditions du pays. Par suite de ces recherches, on utilise le plus souvent des tuyaux pré-isolés (voir les pages suivantes).

Pour les réseaux souterrains, on utilise généralement des canalisations en fonte ductile, recouvertes d'une mousse isolante en polyuréthane et gainées d'un tuyau en polyéthylène à masse volumique élevée.



Figure 9 Raccordement d'une canalisation d'eau, isolée et équipée d'un câble chauffant

Il existe maintenant diverses directives concernant l'installation des canalisations souterraines (voir figure 10).

Pour les canalisations placées au-dessus du sol, il est essentiel que les raccords résistent aux forces de tension; c'est pourquoi on utilise un type particulier de joints de tuyaux.

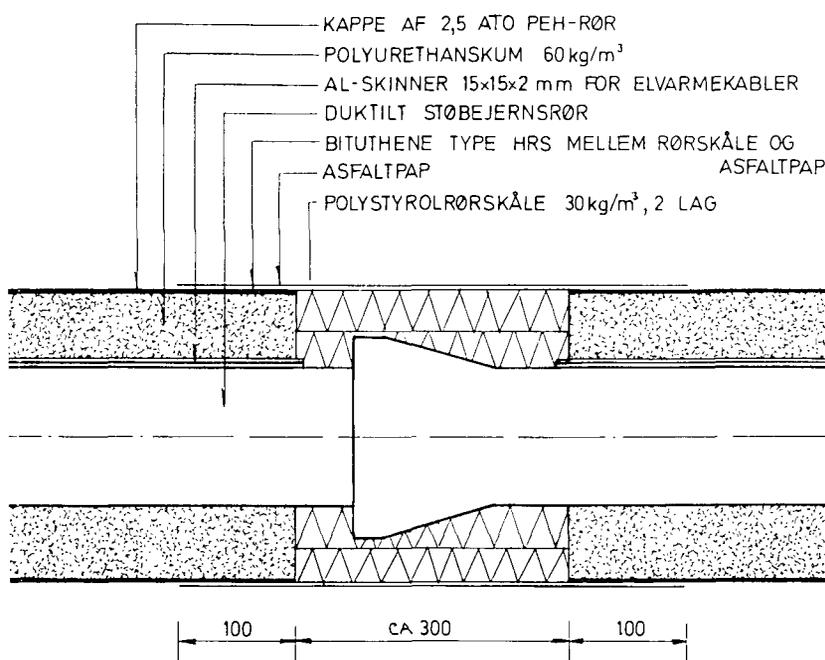
À cause des grandes variations de température, la gaine isolante recouvrant les canalisations est en général composée de feuilles galvanisées.

Il n'est pas viable, financièrement, de doter chaque résidence d'installations d'eau dans les zones composées uniquement de maisons unifamiliales. Les habitants sont alors ravitaillés en eau par camions-citernes, ou ils s'approvisionnent à partir de stations-réservoirs ou de stations de pompage. La station-réservoir est un bâtiment protégé contre le gel où se trouve un réservoir, rempli par camions-citernes et équipé de robinets publics. La station de pompage est elle aussi un local protégé contre le gel, mais ses robinets sont raccordés directement à la canalisation principale d'eau.

Il existe un système particulier de distribution d'eau au Groenland, celui des "canalisations estivales" qui sont posées au-dessus du sol pendant les périodes de dégel et qui sont raccordées aux canalisations permanentes.

Les 16 villes du Groenland sont maintenant toutes dotées d'un service d'eau, chacun comprenant des installations de captation et un système de distribution.

Le prix de l'eau varie de 2,00 D.Kr. par  $m^3$  à 3,25 D.Kr. par  $m^3$ , intérêt et dépréciation des usines non compris. On peut ajouter à cela les frais de transport par véhicule, qui varient de 12 D.Kr. à 25 D.Kr. par  $m^3$ .



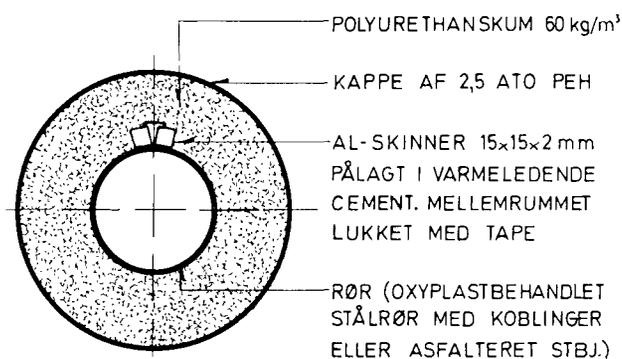
## SAMLING AF PRÆISOLEREDE RØR

(DUKT. STBJ.)

UNDER TERRÆN, 1:5

### NOTE:

UBENÆVNTE MÅL 1 mm

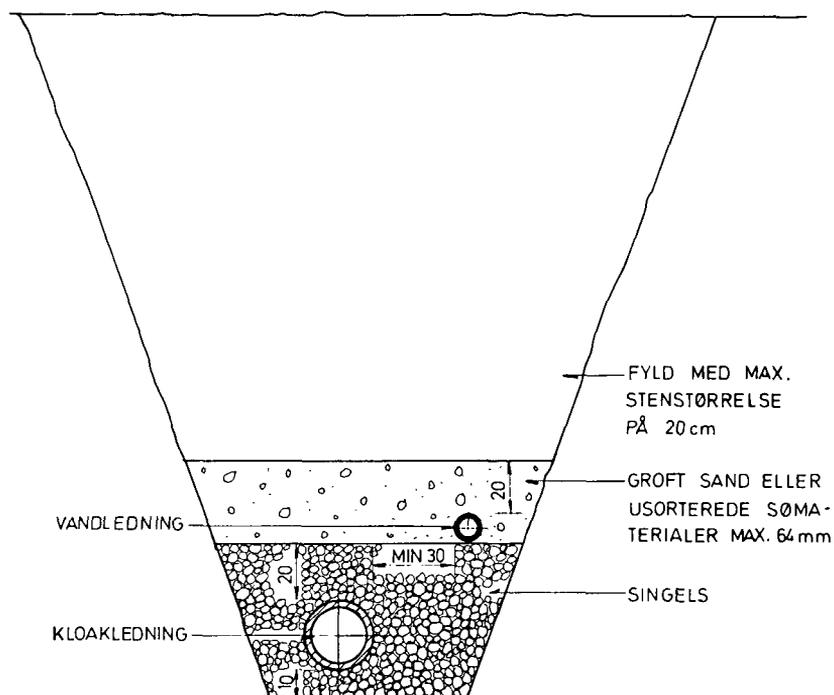


## PREISOLERET RØR, SNIT, 1:5

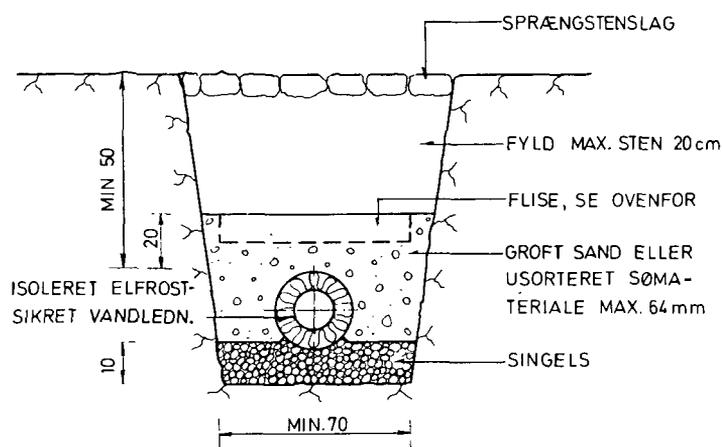
a) Câble chauffant isolé

Figure 10 Canalisation de distribution d'eau souterraine





### VAND OG KLOAK I SAMME GRAV, 1:20



### LEDNINGSGRAV I FJELD, 1:20

c) Autres méthodes d'enfouissement

Figure 10 Canalisation de distribution d'eau souterraine (suite)



Figure 11 Canalisation d'été (Utilidor)

**Protection contre la pollution de l'eau potable.** — Une fois réglé le problème d'un approvisionnement en eau adéquat pour une demande continuellement en hausse, au Groenland, une autre question est à considérer : celle de la protection des réservoirs contre la pollution. Les villes du Groenland étant en perpétuelle expansion, on peut déjà prévoir que les zones d'habitation atteindront un jour les lacs et les aires de captation utilisés par les services d'eau.

En vertu des règlements existants, les zones urbaines ne doivent pas être à moins de 30 m d'un bassin versant; jusqu'à présent, ces règlements ont toujours été respectés.

Il est généralement permis d'installer les canalisations souterraines d'eau dans les mêmes tranchées que les conduites d'égout, à condition de les placer à un minimum de 30 cm au-dessus des conduites d'égout.

#### SYSTÈMES DE COLLECTE DES EAUX USÉES

**Tout-à-l'égout.** — Les égouts, extrêmement coûteux à construire, sont réservés aux zones densément peuplées. On présume que toutes les zones urbaines très développées seront progressivement équipées d'un tel système.

Dans les zones moins développées, il n'est généralement pas possible, financièrement, d'installer un système classique d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées. Les efforts viseront donc l'amélioration des conditions de drainage.

Les systèmes de collecte des eaux usées sont en général gravitaires, le système sous pression n'étant utilisé que dans des cas très particuliers. Il existe une station de pompage des eaux d'égout à Julianehab, dans le sud du Groenland, et une autre (qui ne fonctionne qu'à marée haute), à Sukkertoppen.

Les égouts sont prévus uniquement pour les eaux-vannes. Ce n'est que dans des cas bien précis, et après avoir obtenu une autorisation préalable pour chaque cas particulier, qu'on peut évacuer par la voie des égouts publics l'eau de pluie, de fonte de la neige ou l'eau résiduaire. En effet, l'eau de surface pourrait laisser des dépôts considérables de sable et de limon dans les canalisations.



Figure 12 Véhicules de distribution d'eau



Figure 13 Prise d'eau

Quand on peut installer les canalisations d'égout à une profondeur où ne pénètre pas le gel (en particulier dans le sud du Groenland), on préfère utiliser des canalisations en béton. Par contre, pour les égouts qui doivent être protégés contre le gel, on choisit en général des tuyaux en fonte ductile, équipés à l'extérieur d'un câble chauffant. L'expérience a montré que, dans le cas des canalisations maîtresses, le système électrique de protection contre le gel se mettait rarement en marche, même dans les zones les plus froides.



Figure 14 Construction d'un corridor d'égout

Les villes du Groenland sont toutes situées de telle manière que les eaux-vannes non traitées, qui sont déversées dans la mer, ne posent jamais de problème sanitaire ou esthétique. L'apport en eaux d'égout est insignifiant, comparé au renouvellement des eaux, dans les zones de décharge des localités du Groenland. De plus, les rejets sont en général uniquement composés d'eaux usées ménagères et non de déchets industriels hautement pollués. Les eaux d'égout sont donc déversées directement dans la mer, sans purification préalable.



Figure 15 Ville sur la côte du Groenland

**Ruissellement.** — L'écoulement des eaux de surface pose fréquemment de sérieuses difficultés dans les régions arctiques et subarctiques en raison des hivers rigoureux et des fontes nivales au printemps. Il n'est pas possible, dans les conditions climatiques actuelles, d'évacuer les énormes quantités d'eau par la voie des systèmes installés pour les eaux de pluie : les dépôts considérables de sable et de limon, laissés par les eaux de ruissellement rendraient l'exploitation des systèmes extrêmement difficile.

L'écoulement ne peut donc se faire que par tranchées et fossés, à condition toutefois que les bâtiments soient construits de façon à surplomber les terrains environnants. Les systèmes de fossés fonctionnent adéquatement pendant la plus grande partie de l'année, mais l'écoulement des eaux pose parfois de sérieux problèmes à la fonte des neiges. En général, les routes et les bâtiments nécessitent des réparations à cette époque de l'année. C'est pourquoi il est important que les maisons n'aient pas de caves ou d'espaces utilitaires au-dessous du sol.

Là où les fossés croisent des routes ou des places, les passages souterrains doivent être conçus de façon à pouvoir être nettoyés manuellement (canal en béton surmonté de ponts amovibles). Lorsque l'évacuation des eaux d'égout se fait par un système de fossés, les toilettes ne doivent pas y être raccordées.

#### SERVICES DES DÉCHETS SOLIDES

Ce service comprend le ramassage et l'élimination : des déchets humains; des ordures ménagères; des déchets spéciaux (rebut grossiers). Il est chargé d'enlever, de façon hygiénique, les ordures dans les villes.

Le problème que pose l'enlèvement des matières fécales diminueront probablement à mesure qu'on étendra les services de collecte des eaux usées; cependant, il faudra continuer à assurer ce service. Essentiellement, il faut établir des décharges hygiéniques et bien aménagées, avec des installations pour nettoyer les seaux ou pour brûler les sacs en plastique ou en papier, maintenant d'usage courant dans plusieurs villes.

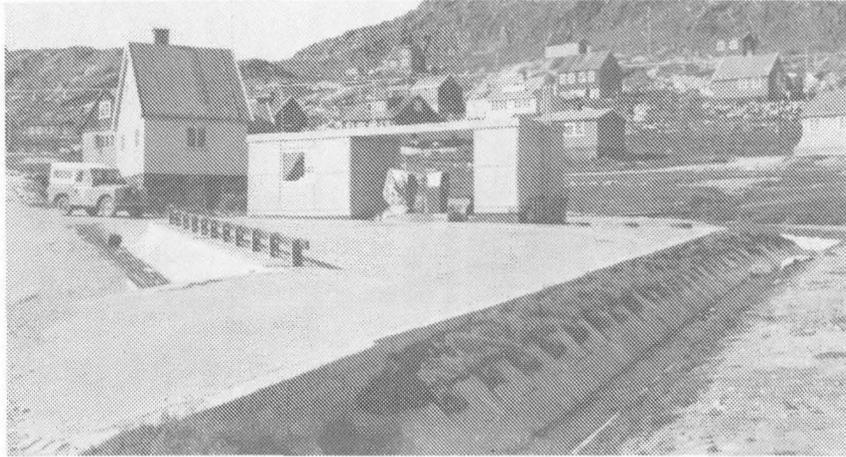


Figure 16 Bâtiment surélevé et écoulement des eaux de surface



Figure 17 Fossé de captage des eaux de ruissellement enjambé par un passage

L'enlèvement des excréments est effectué pour des raisons hygiéniques et esthétiques et met en jeu : les conditions sanitaires à l'intérieur de chaque habitation ; la collecte et le transport ; l'élimination (rejet).

La question du ramassage des déchets est inséparable de celle de leur élimination (c.-à-d. du choix du lieu de décharge). La mer est considérée comme un lieu idéal à cette fin ; la station de rejet doit donc être aménagée là où la pollution locale des eaux ne présente pour la localité aucun inconvénient sur le plan hygiénique ou esthétique.

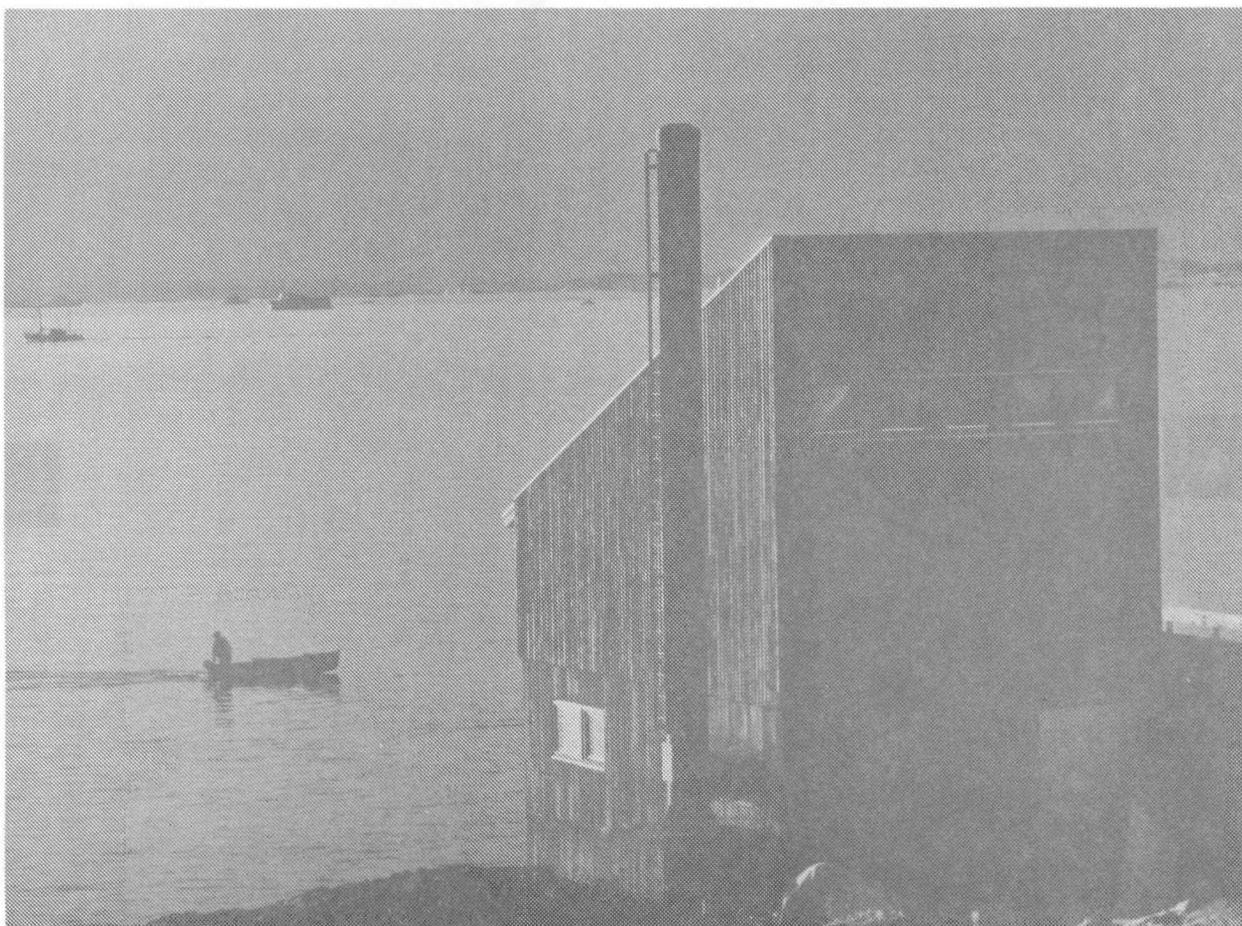


Figure 18 Station de rejet pour les seaux et sacs hygiéniques

L'expansion des services vise les buts suivants : a) il devrait y avoir, dans toute ville ou localité de plus de 500 habitants, un lieu de déversement au bord de la mer et une route en permettant l'accès; b) toute ville de plus de 1 500 habitants devrait avoir également une station de rejet et des installations pour nettoyer les seaux et brûler les sacs.

Pour les ordures ménagères, il existe des décharges contrôlées – à l'extérieur des zones d'urbanisation existantes ou prévues. Autant que possible, ces lieux de décharge doivent occuper des terrains qu'il est impossible d'utiliser "à tout autre fin", l'écoulement des eaux de surface doit se faire dans la direction opposée à celle de la ville. Un endroit vallonné ou un ravin conviennent parfaitement.

Dans certains cas, les ordures sont jetées du haut d'une colline, puis recouvertes de terre par un bulldozer. Dans d'autres, elles sont amenées par des camions à benne basculante, qui font le va et vient entre la localité et le dépôt, puis elles sont brûlées et recouvertes de terre.

Un site de décharge exige deux choses : une aire relativement étendue et des matériaux de remblayage facilement disponibles. De plus, la décharge doit être séparée de l'habitation la plus proche par une distance d'au moins 150 mètres. Au moment de déterminer la distance, il est important d'étudier la direction habituelle des vents à cause de la fumée produite par le brûlage des déchets.

Chaque ville doit également prévoir un site approprié pour la décharge des rebuts grossiers (les directives étant les mêmes pour le choix du site de cette décharge et pour celui d'un dépôt à ordures). On s'efforce d'aménager les deux décharges à proximité l'une de l'autre, de manière à pouvoir y accéder par la même route.

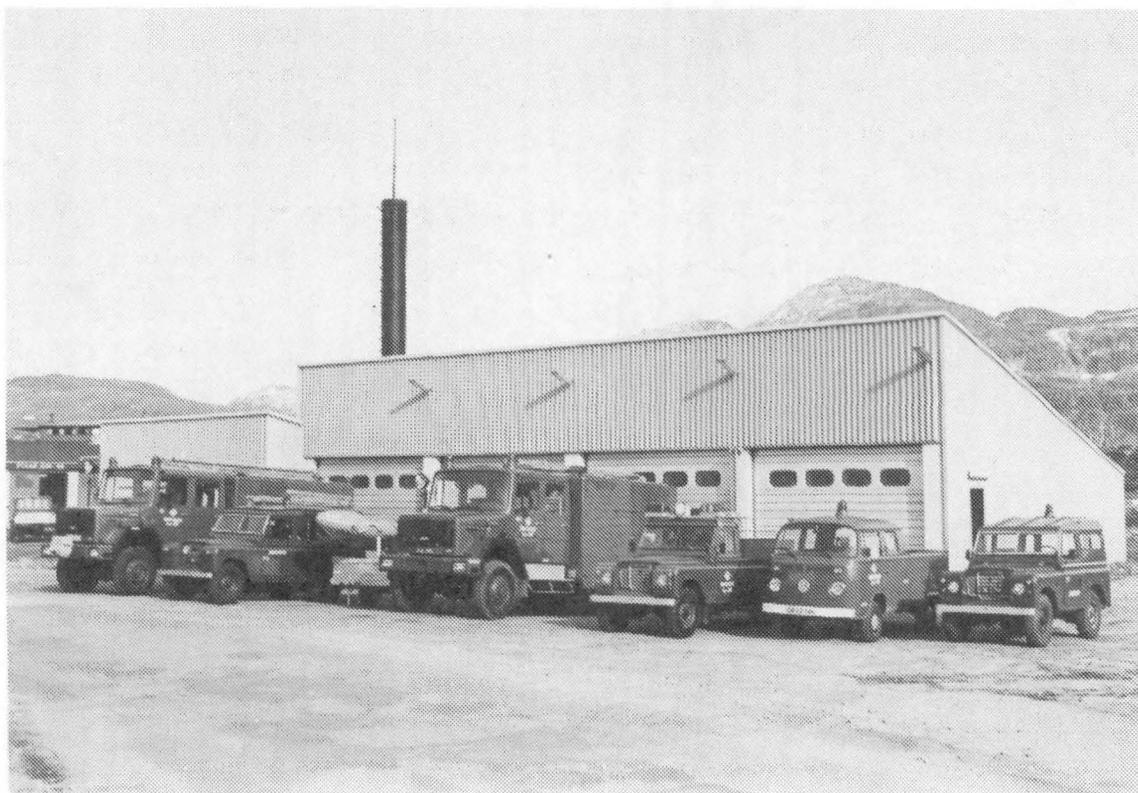


Figure 19 Poste d'incendie

### PRÉVENTION DES INCENDIES

**Législation.** — Les lois relatives à la prévention des incendies, qui dataient de l'époque coloniale, stipulaient que les bâtiments devaient être situés à 15 m au moins l'un de l'autre; elles régissaient précisément la construction des foyers et des cheminées et exigeaient qu'il y ait toujours des extincteurs manuels dans les bâtiments avec foyers.

La loi indiquait de plus que les cheminées et les conduites d'évacuation devaient être ramonées quatre fois par an et les autorités faisaient des inspections périodiques pour s'assurer que ce règlement était respecté.

Les textes de loi furent modifiés par suite par l'introduction de clauses portant sur divers points : emploi de gaz et de liquides inflammables en bouteille, matériaux inflammables et activités présentant des risques d'incendie, alimentation en eau pour la lutte contre les incendies, règlements du code du bâtiment sur la prévention des incendies et lignes directrices sur la distance de sécurité entre les bâtiments.

**Corps de sapeurs-pompiers.** — Des corps de sapeurs-pompiers constitués de bénévoles commandés par un chef de pompiers, ont été créés dans les villes du Groenland. La formation professionnelle des pompiers bénévoles est complétée par des exercices pratiques. Les bénévoles, qui ont tous une occupation régulière en ville, se rencontrent au poste d'incendie lorsque la sirène d'alarme retentit.

Les grandes villes ont de petits corps de sapeurs-pompiers, tandis que les petites villes ont simplement un chef de pompiers, chargé de coordonner les efforts des habitants en cas d'incendie et de s'occuper de l'équipement dont dispose la localité.

**Poste d'incendie.** — Des postes d'incendie avec garages, bureaux, système d'alarme, ateliers, magasins et installations de nettoyage et de réparation des boyaux d'incendie, salles de bain pour les pompiers, ont été construits dans 16 villes du Groenland.

Chaque poste dispose d'un ou de plusieurs véhicules d'incendie, munis de réservoirs d'eau (2 500 - 4 000 l) et de boyaux d'incendie avec des lances d'arrosage permettant d'obtenir un jet à haute pression ou à basse pression pour l'assaut initial. On les a également dotés de véhicules auxiliaires dont l'équipement d'extinction, monté sur remorques, peut être alimenté en eau à partir des bouches d'incendie ou des prises d'eau sur la côte. Les postes disposent d'échelles mobiles et de systèmes de transport du personnel. En cas d'intervention, les camions-incendies sont munis de radeaux de sauvetage en caoutchouc et d'un équipement de premiers soins. Enfin, un certain nombre de pompiers savent se servir des appareils respiratoires.

**Système d'alarme.** — Les centres d'alarme incendie sont reliés par lignes téléphoniques et câbles souterrains à des sirènes et à des avertisseurs installés à divers endroits de l'agglomération et à l'héliport. Cependant, dans la plupart des localités, on avertit les pompiers par téléphone quand un incendie se déclare. Ceux-ci activent alors, à partir de chez eux, une sirène d'alarme. Un panneau à affichage graphique, au mur de la caserne de pompiers, émet un signal sonore indiquant l'endroit où doivent se rendre immédiatement les pompiers.

Les casernes sont en contact radio avec tous les véhicules en cas d'urgence.

**Approvisionnement en eau.** — Les villes où le système d'approvisionnement en eau fonctionne 12 mois par an sont équipées de bornes d'incendie, séparées l'une de l'autre par une distance de 300 m au plus, auxquelles on peut connecter les boyaux d'incendie. En cas de sinistre, il suffit de contacter le service des eaux pour faire augmenter la pression dans les canalisations principales.

Dans les localités où le réseau d'adduction ne fonctionne pas toute l'année, il existe des prises d'eau sur la côte, dans les lacs ou les rivières. Les camions-citernes qui distribuent l'eau fraîche aux habitants servent également de véhicules d'incendie.

**Instruction et formation.** — Les chefs des pompiers, les spécialistes des appareils respiratoires et les pompiers rattachés aux aéroports et héliports sont formés soit à l'école des pompiers du Groenland, à Egedesminde, soit au niveau local grâce à des cours organisés. Les simples pompiers sont formés localement par leur chef, à l'aide de programmes mis au point par les instructeurs de l'école des pompiers.

Les responsables des grandes brigades de pompiers suivent un cours supplémentaire à l'école nationale des pompiers du Danemark.

## L'AVENIR

Les secteurs techniques dont il est question dans le présent rapport ne peuvent être considérés isolément car ils n'incluent que certains des aménagements prévus pour les localités de l'Arctique. Les services d'électricité et de chauffage, entre autres, doivent également être pris en compte.

La situation énergétique provoquée par la crise du pétrole en 1973-74 exige qu'on examine en bloc, et non comme des entités séparées et autonomes, les divers services publics au Groenland.

L'alimentation en électricité s'est faite jusqu'à présent à partir de générateurs à moteur diesel; or cette forme de production d'électricité s'accompagne d'une perte d'énergie d'environ 65 p. cent. Seules quelques villes ont fait de premières tentatives pour combiner la production d'énergie aux fins de l'éclairage et du chauffage, ce qui permet d'économiser l'énergie. Il importe de creuser davantage cette voie et de construire des centrales qui produisent à la fois électricité et chaleur, afin de ramener les pertes en énergie à environ 30 p. cent. De plus, il faut concevoir des centrales telles qu'on puisse les alimenter avec des carburants autres que le pétrole (centrales au charbon ou au gaz), pour pallier au déséquilibre actuel de la situation énergétique au Groenland.

Les réseaux de canalisations extérieures sont très coûteux et consomment beaucoup d'énergie. Il faut donc planifier les installations de chauffage et les services d'eau et d'égout pour l'ensemble d'un district, afin d'utiliser au maximum les mêmes fondations et dispositifs de protection contre le gel. On peut également incorporer au système l'électricité, le téléphone et les câbles de télévision. Tous ces éléments doivent être considérés au moment de la planification urbaine, pour construire des réseaux de canalisations aussi compacts que possible.

À l'avenir, les villes groenlandaises seront alimentées en énergie par des centrales qui produiront à la fois de l'électricité et de la chaleur, et qui fonctionneront au pétrole, au charbon ou au gaz. De plus, il est possible que l'énergie éolienne vienne à jouer un rôle significatif dans le bilan de la production énergétique. Pour un certain nombre de villes, l'approvisionnement en énergie se fera vraisemblablement, en partie ou en totalité, à partir de centrales hydro-électriques.

Ces développements dans le domaine de l'énergie auront des répercussions certaines sur la planification urbaine. Les principaux consommateurs d'énergie devront être localisés au voisinage immédiat des centrales d'électricité et de chauffage, et les habitations devront donc être groupées. Cependant, cette forme de développement urbain, qui veut une concentration des habitations et des réseaux de canalisations, ne sera possible que si les Groenlandais souhaitent jouir d'un confort moderne semblable à celui des villes européennes des régions tempérées, par exemple.

## DEUXIÈME SÉANCE CONSIDÉRATIONS ÉNERGÉTIQUES

### MÉTHODES DE CONSERVATION DE L'EAU ET DE L'ÉNERGIE DANS LE NORD

James J. Cameron et Bryan C. Armstrong  
Sous-section de la Technologie nordique

Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Edmonton

#### INTRODUCTION

L'eau est indispensable à la vie humaine - mais encore faut-il que des ressources en eau existent en quantité suffisante et qu'elles soient d'une qualité acceptable. L'eau est en général abondante dans le Nord; par contre, il existe des régions et des collectivités qui n'ont pas un approvisionnement suffisant en eau potable à longueur d'année. Même là où il y a de l'eau à volonté, la collecte et la distribution de l'eau potable, de même que la collecte et l'élimination des eaux-vannes, sont difficiles et coûteuses. Le coût élevé de l'énergie nécessaire au chauffage et au pompage de l'eau peut constituer une partie importante du coût de l'eau, tant pour les entreprises de services publics que pour les consommateurs. Les avantages de la conservation de l'eau sont généralement plus sensibles dans le Nord qu'ailleurs; il est donc essentiel de mettre au point des méthodes appropriées et des techniques rentables pour parvenir à cette fin.

Le présent document examine les exigences d'alimentation en eau ainsi que les méthodes et les techniques permettant de réduire la consommation d'eau et les besoins énergétiques concomitants. Il étudie diverses possibilités, en tenant compte de leur applicabilité, de leur accueil par le public et de leur rentabilité économique. Ce document est le sommaire d'une étude approfondie menée par la Sous-section de la Technologie nordique, Service de la protection de l'environnement, en conjonction avec le Département du gouvernement local, Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un programme soutenu qui vise à fournir des services d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées dans le Nord (Cameron et Armstrong, 1979). Le but premier du programme était de réduire le coût de la distribution d'eau par véhicule, mais le projet a été étendu aux réseaux de canalisations. L'information qui suit s'applique aux populations du Nord; elle n'en est pas moins juste pour d'autres régions et dans d'autres circonstances.

#### POURQUOI ÉCONOMISER L'EAU?

Les récentes sécheresses qui se sont produites dans bien des régions du monde et la "crise internationale de l'énergie" ont souligné combien il importe de réduire la consommation d'eau et d'énergie. Facteur moins sensationnel mais peut-être plus déterminant en fin de compte, le public se révèle toujours plus conscient du fait qu'il faut limiter le gaspillage et préserver les richesses naturelles. Du point de vue économique, rien de plus sensé que de surveiller sa consommation d'eau et d'énergie.

La conservation de l'eau peut être justifiée par des raisonnements philosophiques ou économiques. Ses avantages potentiels, qui varient selon les conditions locales et le type de système, peuvent profiter aux consommateurs, aux services publics ou aux organismes qui apportent des subventions directes et indirectes ainsi qu'au pays en général. Dans la présente analyse des techniques de conservation de l'eau, l'accent porte avant tout sur la rentabilité économique à long terme, et non pas sur les situations de crise, ou sur l'approche philosophique qui relie conservation de l'eau et protection de l'environnement.

En conservant l'eau, on peut réduire la demande globale et la demande de pointe auxquelles le système doit répondre, et on peut donc réduire la capacité requise des réseaux de canalisations d'eau et d'égout. Une réduction de la demande peut soit prolonger la longévité des installations existantes, soit permettre de desservir davantage de consommateurs avec les mêmes moyens. On peut alors repousser, voire, abandonner l'achat des installations requises pour le développement du réseau. Lorsqu'il faut finalement prolonger ou remplacer le réseau, la réduction de la capacité requise a pour effet de minimiser le coût des nouvelles installations. En général, les réseaux de canalisations ont des coûts unitaires dégressifs, dus à "l'économie d'échelle" et aux exigences

de la capacité minimale (surtout pour la lutte contre les incendies). Quoi qu'il en soit, la conservation de l'eau présente toujours un certain intérêt sur le plan des immobilisations. Souvent, cet intérêt ne devient évident que lorsqu'une crise éclate ou qu'un investissement important se révèle nécessaire. Les coûts d'exploitation variables, tels que le préchauffage, le pompage, les produits chimiques et la main-d'oeuvre, varient directement en fonction de la demande d'eau.

Les systèmes qui utilisent le transport par véhicule sont généralement d'un coût unitaire relativement élevé et constant, et le coût total du service de distribution d'eau et de collecte des eaux usées dépend surtout de la consommation d'eau. Les avantages économiques d'une demande réduite sont clairs et faciles à calculer. Pour qu'un service de camions-citernes soit pratique et concurrentiel par rapport aux réseaux de canalisations, il faut une utilisation optimale de l'eau. Une demande réduite se traduit par une meilleure capacité de stockage pour les besoins essentiels, ce qui augmente la fiabilité du système de distribution et de collecte par véhicule.

La baisse du coût global du réseau de services publics offre des avantages pour le consommateur grâce à des factures totales de distribution d'eau et de collecte des eaux usées plus réduites, même si les prix unitaires, eux, doivent être plus élevés pour assurer un revenu équitable aux exploitants du réseau. Le consommateur tire bénéfice d'une consommation réduite en eau chaude : il réalise une économie sur les factures d'énergie et constate une augmentation (apparente) de la capacité de son chauffe-eau.

La consommation d'eau peut influencer considérablement sur le rendement des stations d'épuration des eaux usées de type hydraulique (bassins hivernaux de rétention par exemple). Une réduction importante des quantités d'eaux usées peut également être avantageuse pour d'autres systèmes de traitement et d'évacuation, conçus pour accepter les plus hautes concentrations d'eaux usées. Dans certains cas, pour réduire la pollution ou pour obtenir une "évacuation nulle", les cabinets à recirculation ou les systèmes de traitement (recyclage) des eaux usées pour les chasses de cabinets, seront nécessaires ou pourront s'avérer économiques.

Lorsque l'approvisionnement en eau est limité, il est impératif de l'utiliser rationnellement. Dans certaines localités du Nord, il n'existe pas de source économique ou pratique d'approvisionnement en eau pendant l'hiver; il faut donc fournir à ces collectivités des méthodes de stockage qui leur permettent de combler leurs besoins en eau pendant cette période (Reid, 1977, Foster et coll., 1977). Dans ces localités, des techniques de conservation de l'eau et des mesures restrictives s'imposent sur le plan économique.

### **CONSOMMATION DE L'EAU**

Pour évaluer les diverses méthodes de conservation de l'eau, il faut préalablement déterminer la quantité d'eau consommée à la maison ainsi que la répartition entre les diverses utilisations. Les données sur la consommation d'eau indiquées au tableau 1 démontrent qu'il n'existe pas de moyenne générale pour la consommation domestique, et que la consommation globale dépend de plusieurs facteurs. La consommation augmente dans les maisons équipées des divers appareils et installations sanitaires. La figure 1 indique les valeurs moyennes obtenues à partir de plusieurs études sur la répartition de la consommation d'eau dans les habitations desservies par réseaux de canalisations (ou rattachées à de tels réseaux). Il peut y avoir, naturellement, des écarts importants d'une habitation à l'autre. Bien qu'il n'existe aucune étude sur le sujet, on suppose que la situation est la même dans les habitations desservies par camions-citernes - pour une maison équipée du même système de plomberie et des mêmes installations sanitaires.

### **FACTEURS INFLUANT SUR LA CONSOMMATION DE L'EAU**

La consommation d'eau dans les habitations dépend de plusieurs facteurs, dont la tuyauterie du bâtiment, le type de services, l'importance de la famille (c.-à-d. le nombre d'occupants), le niveau socio-économique, le climat, la structure tarifaire, le prix de l'eau et les codes de plomberie.

Dans les localités du Nord où les maisons sans système de plomberie sont approvisionnées par camions-citernes, on consomme environ 10 l/d par personne. Un niveau si peu élevé n'est pas propice à l'hygiène et à la santé. Pour remédier à ce problème, divers organismes gouvernementaux ont créé des programmes visant à améliorer les installations, dans les localités et dans les habitations. La consommation d'eau augmente de façon très marquée dans les maisons équipées de canalisations d'eau chaude ou froide sous pression et d'appareils sanitaires, ou quand les collectivités sont dotées de services publics. Des données provenant d'une zone de Yellowknife (T.N.-O.), desservie par camions-citernes, indiquent qu'une famille de quatre personnes habitant une maison

Tableau I Résumé de la documentation relative à la consommation de l'eau

Consommation l/d/pers.	Observations	Références
240	Moyenne résidentielle annuelle 1963-65, mesurée par compteur, ouest des É.-U.	Howe et Linaweaver, 1967
167	Moyenne de 18 résidences, Louisville,	Anderson et Watson, 1967
68 – 261	Gamme	
263	Moyenne résidentielle 1968, absence de compteur, Toronto	Grima, 1972
171	Moyenne résidentielle 1968, mesurée par compteur, Toronto	
114 – 189	Gamme résidentielle	Wallman, 1972
330	Résidences, janv., Phoenix, Ariz.	Whitford, 1972
1325	Résidences, juil., Phoenix, Ariz.	
208	Résidences, juil., Baltimore, Md.	
253	Ménages desservis par des canalisations d'égout	Cohen et Wallman, 1974
167	Habitations raccordées à une fosse septique	
168	Moyenne de 19 ménages ruraux	Ligman et coll., 1974
31 – 615	Gamme	
153 – 182	Intervalle de confiance 95 p. cent	
169	Moyenne de 6 ménages	Bennett, 1975
161	Moyenne de 11 ménages ruraux	Siegrist et coll., 1976
154 – 168	Intervalle de confiance 90 p. cent	
190	Moyenne résidentielle 1972-73-74, mesurée par compteur, Edmonton	Gysi et Lamb, 1977*
217	Moyenne résidentielle 1972-73-74, mesurée par compteur, Calgary	
420	Moyenne résidentielle 1972-73-74, absence de compteur, Calgary	
202	Moyenne résidentielle 1975, mesurée par compteur, Edmonton	
210	Moyenne résidentielle 1975, mesurée par compteur, Calgary	
465	Moyenne résidentielle 1975, absence de compteur, Calgary	
236	Edmonton 1977, mesurée par compteur, 3,5 pers./habitation	Betker, 1977
625	Moyenne 1975 pour 2 780 municipalités au Canada	Service de la protection de l'environnement, 1977
485	1973, Inuvik, partie desservie de la localité	Associated Engineering Services Ltd., 1973
1680	Whitehorse, moyenne résidentielle, dispositif, d'écoulement continu	Stanley & Associates
135 – 2500	Gamme	Engineering Ltd., 1974
530 – 6200	Sondage 1973, 20 localités en Alaska, dispositif à écoulement continu, gamme élevée	Hansen, 1975
430	Yellowknife 1975, ensemble de la localité	Service de la protection de l'environnement, 1977
	Ménages approvisionnés par camion, Yellowknife, 2,85 pers./habitation	Cameron, 1977
118	Moyenne	
45 – 295	Gamme	
70 – 167	Intervalle de confiance 95 p. cent	
9	Localités des T.N.-O., sans système de plomberie	
243	Moyenne, camps de 200-1 300 hommes	Murphy <i>et al.</i> , 1977
160 – 410	Gamme	
200 – 286	Intervalle de confiance 95 p. cent	
86	Remorque de lavage pour camp de 18 hommes, avec toilette à vide (ordures domestiques non comprises)	Given et Chambers, 1976

\*Valeurs relevées pour la consommation globale des ménages, puis ramenées à une moyenne de 4 pers./habitation

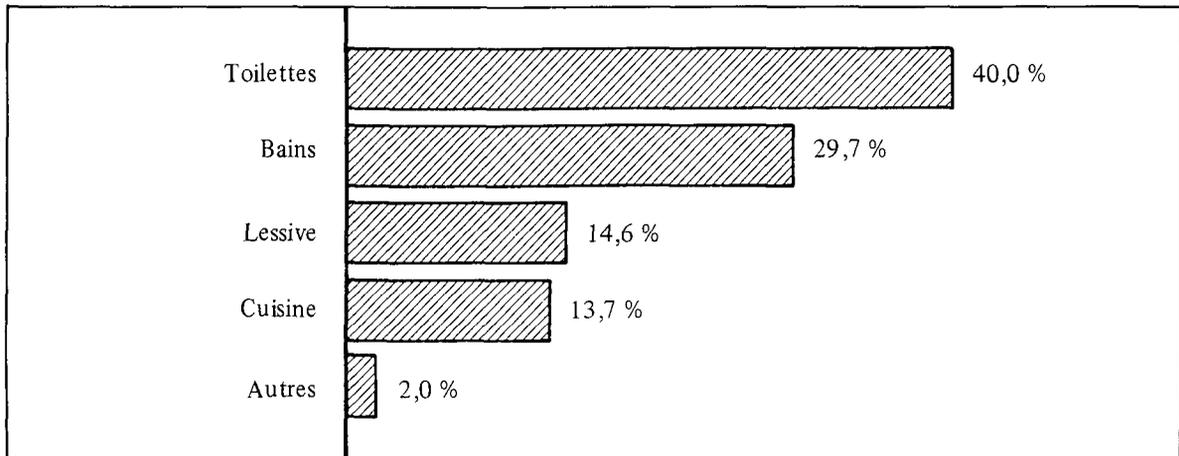


Figure 1 Répartition de la consommation domestique de l'eau

équipée de tout le système conventionnel de plomberie consomme environ 95 l/d par personne. Cette consommation relativement faible des maisons approvisionnées par véhicule est due à la plus petite pression d'eau interne fournie par les pompes à pression individuelles, et au fait que les gens savent que la quantité d'eau est limitée. Les usagers modifient en conséquence leurs habitudes de consommation d'eau et sont davantage portés à installer ou accepter des dispositifs permettant d'économiser l'eau.

Dans les maisons alimentées par un réseau de canalisations, les usagers consomment de plus grandes quantités d'eau, en partie parce que les réserves en eau semblent illimitées. Une maisonnée de quatre personnes consomme environ 225 l/d par personne. Lorsqu'on a recours à l'écoulement continu pour empêcher le gel des conduites d'eau (et également, dans certains cas, des égouts), la consommation peut dépasser 2 500 l/d par personne. Vu l'augmentation des coûts de l'énergie et des services publics, les nouveaux systèmes sont généralement conçus de façon à éliminer le recours à ce procédé. On étudie actuellement la possibilité de réduire ou d'éliminer les dispositifs d'écoulement continu dans les services d'eau existants (Armstrong et Given, 1979). Un autre problème qu'on rencontre fréquemment dans le Nord est celui de la chauffe des canalisations d'eau placées dans les utilidors équipés de tuyaux de chauffage central. Essayer d'obtenir un verre d'eau fraîche conduit invariablement à un gaspillage d'eau considérable.

Les réseaux d'égouts gravitaires exigent une vitesse d'écoulement suffisante pour empêcher le dépôt des matières solides. Les cabinets à chasse rapide ou avec réservoir de réception consomment moins d'eau tout en maintenant un taux d'évacuation élevé et devraient fonctionner de façon satisfaisante avec un raccordement d'habitation de 100 mm et une pente de 2 p. cent (Cole, 1975, Konen et DeYoung, 1975). Dans le cas des réseaux d'égouts non gravitaires, on peut utiliser des tuyaux de petit diamètre et des cabinets à très faible consommation d'eau. Ainsi, il existe un type de cabinets, le cabinet à dépression, qui ne consomme qu'un litre d'eau et qui s'adapte aux systèmes sous vide.

Plus il y a d'occupants dans l'habitation, plus la demande globale d'eau augmente et plus la consommation par personne diminue. La baisse dans la consommation par personne s'explique par le fait que certaines tâches ménagères demandent des quantités d'eau relativement fixes, quel que soit le nombre d'occupants. Le rang social et économique du ménage influe aussi sur la consommation d'eau et peut dénoter un type ou un niveau différent d'utilisation des services d'eau et d'égout.

La consommation de l'eau pour les besoins de l'arrosage des pelouses, etc., dépend des conditions climatiques; dans le Nord, elle peut être relativement faible à cause de la courte durée des étés et du petit nombre de pelouses.

La tarification et la fixation des prix ont pour but principal de produire des revenus. Elles peuvent être utilisées pour limiter la consommation d'eau, surtout l'utilisation d'eau à l'extérieur (Howe et Linameaver, 1967, Grima, 1972). Les diverses méthodes de tarification ayant été employées sont : le tarif uniforme (prix fixe par litre), le tarif dégressif (prix décroissant par litre), le tarif progressif (prix croissant par litre), des taux tenant compte de la demande et de la charge de pointe, et un prix saisonnier. En l'absence de compteurs, un forfait est établi indépendamment de la consommation, et il n'existe aucune raison économique ou autre qui incite le consommateur à économiser l'eau. Les usagers payant un forfait utilisent habituellement 30 à 50 p. cent plus d'eau que les clients dont la consommation est mesurée par un compteur. Toutes les autres méthodes de tarification permettent d'influencer, dans une certaine mesure, la consommation d'eau, et de répartir équitablement le coût des services d'eau et d'égout. En s'appuyant sur un modèle économique détaillé, Chan et coll. (1976) ont démontré que la méthode de tarification n'influe sur la demande d'eau que dans la mesure où elle fixe le prix marginal. Les prix marginaux étant égaux, la demande reste la même, quelle que soit la méthode de tarification. Exception faite du forfait, les prix unitaires peuvent donner lieu à des revenus équitables tout en encourageant l'utilisation rationnelle de l'eau. Les prix unitaires, et surtout les prix unitaires proches du seuil de rentabilité, doivent refléter les coûts réels de service.

La tarification et le prix devraient refléter le coût marginal réel à long terme des services. Malheureusement, il est difficile d'établir ce coût avec précision, surtout pour les réseaux de canalisations. Les considérations administratives et les subventions peuvent influencer, voire même imposer, la tarification et le prix. Pour les réseaux de services fortement subventionnés, et dans les petites localités, on est tenté de faire payer un tarif forfaitaire afin de réduire les complexités administratives. Compte tenu des contraintes sociales, politiques et techniques, il n'est pas étonnant de constater que "l'on procède généralement par tâtonnements, en se servant des chiffres de vente dans une localité donnée, pour décider des tarifs d'eau" (American Water Works Association, 1954). Il faut donc s'attendre à certains compromis et à des difficultés, mais l'objectif ultime devrait être de récupérer le coût total à long terme de la dernière unité d'eau consommée.

Dans le Nord, le coût des services publics et de l'énergie est très souvent subventionné sous forme d'octrois directs ou indirects. Les subventions répondent à des objectifs sociaux, politiques, administratifs, économiques ou de santé publique. Toutefois, il faut veiller à ce qu'elles ne soient pas la cause de l'inefficacité des systèmes. Si elles réduisent, ou même éliminent, le prix à payer pour les services, il y a déformation de la demande - ce qui peut entraîner une consommation d'eau excessive, des frais élevés de service et des subventions supplémentaires. L'aide de l'État peut prendre diverses formes : octrois et prêts pour l'installation ou l'exploitation des systèmes de distribution d'eau et de collecte des eaux usées, prix subventionnés pour les consommateurs. Lorsque les subsides sont importants, les bénéficiaires principaux d'une réduction de la demande d'eau et d'énergie sont les organismes qui accordent l'aide. Dans les autres cas, les divers coûts et bénéfices associés à la conservation de l'eau sont partagés entre les organismes gouvernementaux et les consommateurs. Tous les organismes qui versent des subsides sont responsables de l'équité et de l'efficacité au sein des services publics, comme ils sont responsables de l'utilisation rationnelle des fonds publics. Dans cet esprit, il est légitime de facturer les consommateurs au plein tarif (prix marginal), pour toute consommation d'eau qui dépasse une quantité raisonnable donnée. Dans certains cas, il peut être opportun, équitable et économique de subventionner l'achat et l'installation de dispositifs de conservation de l'eau, au lieu des services publics. Il existe déjà de tels programmes nationaux, dont le but est d'aider l'industrie et les propriétaires à réduire les pertes de chaleur et à conserver l'énergie.

Les codes de plomberie et les lignes directrices visent généralement à assurer la sécurité et à protéger la santé des consommateurs, ainsi qu'à établir des normes relatives aux matériaux et à la construction. Les codes et lignes directrices servent également à promouvoir la technologie de conservation de l'eau. Les dispositions les plus répandues prescrivent un volume maximal de chasse d'eau de 13 l (3,5 gal US/mn), pour les toilettes à réservoir, un débit maximal de 11 à 13 l/mn (3,0 à 3,5 gal US/mn), pour les pommes de douche et de 7,6 à 15 l/mn (2,0 à 4,0 gal US/mn), pour les robinets. Il serait souhaitable de réviser les codes existants pour qu'ils permettent au moins l'utilisation des dispositifs de conservation de l'eau, lorsque ces dispositifs sont justifiables pour des raisons d'économie, de salubrité ou autres. Les codes de plomberie devraient promouvoir l'efficacité des systèmes et non dresser des obstacles injustifiés à la conservation de l'eau, comme c'est le cas pour certaines normes actuelles.

## CONSERVATION DE L'EAU

Il existe divers moyens pour réduire la consommation d'eau : mesures administratives, campagnes de sensibilisation ou techniques de conservation de l'eau, par exemple. Lorsqu'on favorise ou qu'on applique des mesures de conservation de l'eau, il faut toujours tenir compte de la culture et des goûts des usagers. Les entreprises de services publics et les organismes de subvention qui désirent réduire la consommation d'eau devraient mettre sur pied une campagne d'information et de sensibilisation des usagers qui tienne compte des opinions de ceux-ci. Des changements d'attitude face au gaspillage et une modification du comportement, combinés à une connaissance de quelques manières simples de conserver l'eau et à une prise de conscience des avantages qui pourraient en découler, peuvent provoquer une réduction de la demande totale d'eau.

Les mesures de lutte contre la sécheresse adoptées dans le comté de Marin (Californie), face à une pénurie d'eau qui dura deux années, constituent un bon exemple des efforts tentés pour sensibiliser le public à la conservation de l'eau (Nelson, 1977). En 1976, le service des eaux municipales du comté parvint à réduire la demande de 25 à 30 p. cent par rapport à la demande annuelle moyenne, grâce à une campagne d'information et à des articles de presse indiquant combien il importait de limiter la consommation. En 1977, pour réduire encore la demande d'eau, les responsables du comté attribuèrent à chaque usager un quota d'eau basé sur le nombre de personnes par habitation. Pour faire respecter les quotas établis, ils imposèrent une nouvelle tarification très rigoureuse. Le tarif de base fut doublé, et ceux qui consommaient jusqu'à deux fois le quota durent payer plus de huit fois l'ancien tarif, ceux qui consommaient plus de deux fois leur quota durent payer 40 fois l'ancien tarif. Le service des eaux fit parvenir aux usagers des conseils sur les économies d'eau et diverses autres instructions, ainsi que des "trousses" gratuites de dispositifs de conservation de l'eau, comprenant des réducteurs de débit pour les douches et des bouteilles à insérer dans le réservoir du cabinet de toilette. Résultat : les résidents du comté de Marin réduisirent leur consommation d'eau de 65 p. cent et très peu de consommateurs excédèrent leur quota. À la fin de la période de sécheresse, les mesures restrictives furent levées, mais selon la revue *Consumer Reports* (mai 1978), la consommation d'eau demeura à 45 p. cent en dessous des niveaux d'avant la sécheresse. Il est certain que cette campagne répondait à une situation de crise; elle n'en démontre pas moins les avantages de la sensibilisation des usagers et montre combien il importe que ceux-ci acceptent les mesures ou les méthodes de conservation de l'eau.

## TECHNIQUES PERMETTANT D'ÉCONOMISER L'EAU

Les techniques de conservation de l'eau permettent de réduire, sans inconvénients, les besoins d'eau. Les tableaux numérotés de 2 à 6 traitent des diverses catégories de la consommation d'eau pour les cabinets, la salle de bain, la lessive etc., et donnent une description sommaire des diverses techniques de conservation de l'eau. Ces tableaux sont relativement complets en ce qui a trait aux techniques, aux dispositifs et aux produits. Cependant, il peut y avoir des variations à cause de la diversité des modèles disponibles sur le marché. On n'a pas procédé à une série d'essais objectifs; dans beaucoup de cas, les données sont tirées de la documentation courante, des renseignements pris auprès des fabricants, ou elles sont le fruit de l'expérience. Dans certains cas, les codes de plomberie peuvent interdire l'utilisation de certains dispositifs de conservation de l'eau, même quand la consommation d'eau est sensiblement réduite. Les dispositifs ne sont pas toujours techniquement valables ou appropriés dans telle ou telle situation particulière; il faut tenir compte de leur acceptation par les usagers.

Plus les techniques et les dispositifs de conservation de l'eau sont connus du public, et mieux ils sont acceptés par lui. Ceci est d'autant plus vrai pour les nouveautés et les techniques qui nous viennent de l'étranger, que l'on rejette parfois sans examen, en dépit d'un niveau de service égal ou même supérieur.

Les consommateurs et les entreprises de services publics doivent être informés des implications économiques réelles des diverses approches. Une analyse strictement économique doit faire abstraction des paramètres suivants : les bénéfices sociaux des systèmes, les considérations esthétiques, les préférences des usagers, l'applicabilité des techniques et les multiples arguments pour ou contre chaque option. Quand vient le moment de prendre des décisions, on peut combiner les considérations subjectives et les données strictement économiques. Il importe de noter que l'option la moins coûteuse n'est pas forcément la "meilleure", mais simplement celle qui est la moins onéreuse étant donné les hypothèses sur lesquelles repose l'analyse.

La comparaison des moyens de conserver l'eau et le choix de la méthode la plus économique pour un bâtiment ou une localité posent certains problèmes d'ordre pratique et technique. Les frais d'investissement, d'installation et d'exploitation et d'entretien (E&E), associés à une option doivent être actualisés. Puisque la

TABLEAU II DIVERSES MODIFICATIONS À APPORTER AUX CABINETS

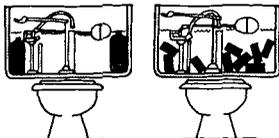
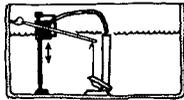
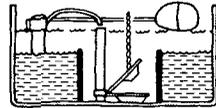
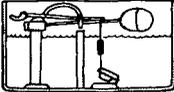
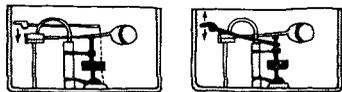
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<p><b>Briques ou bouteilles de plastique</b></p> 	<p>Des briques ou des bouteilles en plastique remplies d'eau et lestées avec de petits cailloux et entièrement remplies de sable ou de gravier sont introduites dans le réservoir de chasse. À chaque chasse, elles épargent un volume d'eau égal à celui qu'elles occupent.</p>	<p>Dispositif peu coûteux, facile à installer par l'occupant généralement constitué d'objets de rebut domestiques. Si la chasse est insuffisante, on peut mettre des bouteilles plus petites, jusqu'à ce que la chasse soit suffisante.</p>	<p>Les briques se détériorent dans l'eau et leurs débris vont encombrer les trous d'écoulement et le siège du clapet de chasse, causant une fuite continue. Elles peuvent aussi fêler le réservoir en y tombant et un trop grand nombre de briques générant la circulation de l'eau autour d'elles. Les briques ne sont pas conseillées. Les bouteilles de plastique peuvent glisser et coincer le mécanisme de chasse, si elles sont remplies de sable et mal bouchées, le sable peut s'échapper et s'accumuler sous le clapet de chasse, causant une fuite continue.</p>	<p>Néant</p>	<p>Dépend des dimensions. Deux briques ou deux bouteilles de plastique éparagneront à peu près 2 l soit environ 10% par chasse.</p>	<p>Faible ou nul si fabriqué par l'occupant.</p>	<p>Néant</p>
<p><b>Flotteurs améliorés</b></p> 	<p>Remplacent les flotteurs sphériques ordinaires et les robinets de remplissage, permettant l'abaissement du niveau de l'eau et son réglage de façon à n'utiliser que le strict nécessaire d'eau pour une chasse efficace.</p>	<p>Améliorent l'efficacité de la chasse: certains facilitent la détection des fuites. Peuvent durer plus longtemps que les modèles qu'ils remplacent car s'usant moins sur les modèles signalés de fuites, le robinet est toujours entièrement ouvert ou fermé, donc plus silencieux que le robinet à flotteur ordinaire à fermeture progressive.</p>	<p>L'économie d'eau se limite essentiellement à l'élimination des fuites. Un peu plus coûteux que l'appareillage classique.</p>	<p>Se branchent sur le tuyau d'alimentation du cabinet.</p>	<p>Dépend du mécanisme existant: l'économie peut varier de 2/10 à une valeur notable. On a très peu de données sur la quantité d'eau qui se perd par les fuites.</p>	<p>De \$6 à \$10.</p>	<p>Néant</p>
<p><b>Bâtardeaux</b></p> 	<p>Cloisons de plastique ou de métal introduites en position verticale dans le réservoir de chasse et fixées de façon élastique au fond et aux parois du réservoir. Certains modèles se placent autour de l'orifice d'écoulement de la chasse, mais tous retiennent une certaine quantité d'eau dans le réservoir quand on fait fonctionner la chasse.</p>	<p>Faciles à installer; réduisent davantage la consommation que les dispositifs faits par l'occupant. N'ont pas d'action sur la hauteur d'eau ni sur le mécanisme de chasse. Les modèles en caoutchouc et en métal sont plus durables que ceux en plastique.</p>	<p>Certains modèles ne sont pas réglables et ne permettent pas de limiter l'écoulement au minimum strict nécessaire pour une chasse efficace. Avec certains modèles de cabinets anciens ils peuvent ne pas donner une bonne chasse.</p>	<p>Néant</p>	<p>Économisent environ 35% soit à peu près 7 l par chasse.</p>	<p>De \$4 à \$8.</p>	<p>Néant</p>
<p><b>Poids</b></p> 	<p>Fixés sur la chaîne ou sur la tige du flotteur. Quand la quantité voulue d'eau est écoulée, on lâche la poignée de chasse, et le poids ramène immédiatement le clapet sur son siège, et l'écoulement s'arrête.</p>	<p>Presque aussi efficaces que les bâtardeaux pour réduire la consommation d'eau, on peut les utiliser conjointement avec ceux-ci pour accroître l'économie d'eau. Peuvent être fabriqués par l'occupant.</p>	<p>Rend inutile le fonctionnement normal du mécanisme de chasse, l'usager doit tenir la poignée en position basse jusqu'à ce que la quantité voulue d'eau soit écoulée. Les modèles commerciaux ne présentent aucun avantage sur ceux faits par l'occupant.</p>	<p>Néant</p>	<p>Économisent à peu près 30% soit environ 6 l par chasse, en moyenne.</p>	<p>De \$0,80 à \$8,00 Nul si fabriqué par l'occupant.</p>	<p>Néant</p>
<p><b>Mécanismes à double action</b></p> 	<p>Le type à simple action peut être un contrepois, un flotteur cylindrique ou un mécanisme à pulsion d'air qui manœuvre le clapet. Quand la chasse est actionnée normalement, une partie seulement de l'eau est chassée. Pour une chasse complète, la poignée doit être tenue en position basse. Les types à double action remplacent le mécanisme de commande du clapet. On actionne la poignée dans un sens pour une chasse de petit volume (déchets liquides), et dans l'autre sens pour une chasse complète (déchets solides).</p>	<p>Permet à l'usager le choix de la quantité d'eau chassée. Peut être utilisé conjointement avec un bâtardeau.</p>	<p>Avec les types à simple action, il faut tenir la poignée pendant s'encrasser par les dépôts de l'eau ou par de la saleté. Le mécanisme à double action est difficile à installer, et n'étant pas réglable, il peut ne pas donner une bonne chasse avec tous les cabinets.</p>	<p>Néant</p>	<p>Économise à peu près 50% sur les chasses de petit volume. L'économie totale moyenne est d'environ 30% soit 6 l par chasse.</p>	<p>De \$3 à \$15</p>	<p>Néant</p>
<p><b>Réservoir de remplacement</b></p> 	<p>Se montent sur les cuvettes de cabinets existantes à la place de tout le réservoir de chasse, le nouveau réservoir comporte une cartouche de pression et un couvercle. En entrant dans le réservoir vide, l'eau comprime l'air intérieur, et le débit s'arrête quand les pressions de l'eau et de l'air sont égales. Lorsqu'on actionne la chasse, l'air comprimé et la gravité chassent l'eau dans la cuvette.</p>	<p>Consomment environ la moitié moins d'eau que les réservoirs ordinaires.</p>	<p>Coûteux et plus difficiles à installer que les autres dispositifs. Un peu bruyants aux hautes pressions. Peuvent ne pas avoir un fonctionnement satisfaisant sur les réseaux où la pression est moindre que 240 kPa.</p>	<p>Se posent sur les cuvettes de cabinets ordinaires et se branchent sur la conduite d'eau.</p>	<p>Consomment de 9,5 l à 11,5 l par chasse, d'où une économie d'environ 50%.</p>	<p>De \$65 à \$95</p>	<p>Néant</p>

TABLEAU III DIVERS TYPES DE CABINETS

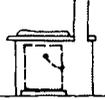
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<b>Cabinet extérieur</b> 	<p>Les matières se décomposent dans une fosse et sont absorbées par le sol. La fosse se remplit peu à peu et le cabinet doit être déplacé.</p>	<p>Facile à installer, peu coûteux, ne nécessitant ni eau ni conduites. Pas de pièces mobiles.</p>	<p>Odeurs désagréables, froid l'hiver, accès inconfortable, peut contaminer les sources. Inutilisables en zone urbaine ou dans les régions de perméabilité. Doit être périodiquement changé de place.</p>	<p>Néant</p>	<p>Néant</p>	<p>De \$0 à \$150</p>	<p>Néant</p>
<b>Seau</b> 	<p>Les matières tombent directement dans un seau contenant un désodorisant chimique, ou dans un sac en plastique. Le seau est vidé et rechargé périodiquement, ou le sac est enlevé pour évacuation sanitaire et remplacé par un sac neuf.</p>	<p>Simple et peu coûteux, n'a pas besoin d'eau. Pas de pièces mobiles.</p>	<p>Un peu mieux qu'un cabinet extérieur à l'intérieur. L'enlèvement des déchets de la maison, leur collecte et leur évacuation sont souvent instables. La collecte doit être faite cinq fois par semaine.</p>	<p>Uniquement aération</p>	<p>Néant</p>	<p>De \$25 à \$100</p>	<p>Variable, mais reste faible. Certains types consomment des produits chimiques et d'autres des sacs en plastique (\$5 par sac).</p>
<b>Cabinet classique</b> 	<p>Les matières sont siphonnées à travers une brusque chasse d'eau tombant du réservoir.</p>	<p>Salubre, inodore, relativement facile à réparer et peu coûteux à l'achat.</p>	<p>Consomme beaucoup d'eau pour transporter peu de matières. Le rejet final de l'effluent pose un problème. Exige une alimentation en eau sous pression et une évacuation par réseau d'épouillage gravitaire.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 9,5 mm. Tuyau d'évacuation de 75 mm.</p>	<p>15 à 30 l par chasse. Moyenne, 20 l par chasse.</p>	<p>De \$60 à \$240. Certains peuvent atteindre \$500.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau, une famille de quatre personnes consomme environ 400 l par jour en chasses.</p>
<b>Cabinet à trappe peu profonde</b> 	<p>Comme le précédent, mais avec une trappe moins profonde et un réservoir de chasse plus petit.</p>	<p>Comme le précédent, mais consommation d'eau réduite d'environ 33%.</p>	<p>Comme le précédent, mais consomme moins d'eau.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>	<p>13 à 16 l par chasse. Moyenne, 14,5 l par chasse.</p>	<p>De \$80 à \$200.</p>	<p>Comme ci-dessus, mais consommation familiale réduite à environ 290 l par jour en chasses.</p>
<b>Modèle européen de 6 l</b> 	<p>Les matières sont siphonnées à travers une trappe par une brusque chasse d'eau. Possède une trappe peu profonde et un réservoir plus petit que le type classique. Il existe des modèles à chasse de 9 l.</p>	<p>Salubre, inodore, consomme environ 70% moins d'eau que les types classiques.</p>	<p>Le conduit d'évacuation se branche à l'arrière de la cuvette, ce qui peut poser des problèmes lors d'une modification de l'installation. Ne fonctionne pas aussi bien que les types classiques nord-américains en particulier avec les excréments non humains.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 9,5 mm. Tuyau d'évacuation de 75 mm.</p>	<p>6 l par chasse.</p>	<p>De \$170 à \$225.</p>	<p>Comme le précédent, mais consommation familiale réduite à 120 l par jour pour les chasses.</p>
<b>Modèle européen de 3 l</b> 	<p>Comme le précédent, mais avec une trappe plus petite et un miroir d'eau.</p>	<p>Comme le précédent, mais consomme environ 85% moins d'eau que les types classiques.</p>	<p>Comme le précédent, mais doit être relié à une fosse, pas à un réseau d'épouillage. Plusieurs recommandations pour l'installation, concernant le calibre du conduit d'évacuation, la pente et la distance maximum, ce qui peut en restreindre l'emploi lors des modifications d'installation.</p>	<p>Comme le précédent.</p>	<p>3 l par chasse.</p>	<p>\$220.</p>	<p>Comme le précédent, mais consommation familiale réduite à 60 l par jour pour les chasses.</p>
<b>Cabinet à chasse sous pression</b> 	<p>La poignée libère une chasse d'eau à grande vitesse qui produit un effet tourbillonnaire et siphonne les matières à travers une trappe.</p>	<p>Élimine le réservoir de chasse. A généralement un cycle et un temps de récupération plus courts. La cuvette est bien nettoyée par l'action de la chasse.</p>	<p>Dépend de la pression d'alimentation en eau. Sera affecté par des chutes de pression dues à l'utilisation d'autres appareils. Exige un tuyau d'eau de 25 mm. Ne peut donc convenir aux usages domestiques.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 25 mm. Tuyau d'évacuation de 75 mm.</p>	<p>De 8,5 l à 16 l par chasse.</p>	<p>De \$100 à \$175.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau, une famille de quatre personnes consomme de 170 à 320 l par jour en chasses.</p>

TABLEAU III DIVERS TYPES DE CABINETS (suite)

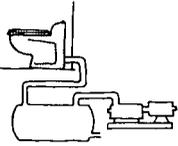
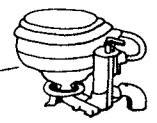
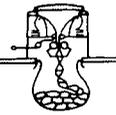
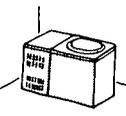
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<p><b>Cabinet à air comprimé</b></p> 	<p>Les matières et l'eau de chasse tombent de la cuvette dans une chambre secondaire où une chasse d'air comprimé est envoyée qui projette l'eau et les matières dans le conduit d'évacuation.</p>	<p>Consomme peu d'eau et renovera une installation de plomberie classique. Le même compresseur d'air peut desservir une installation de plusieurs cabinets. N'a pas de réservoir de chasse.</p>	<p>Exige un compresseur d'air ou une bouteille d'air comprimé, son fonctionnement est relativement complexe. Gros investissement et besoin d'énergie pour le compresseur ou la recharge de la bouteille d'air comprimé.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 9,5 mm. Tuyau d'évacuation de 75 mm. Air comprimé à 410 kPa ou électrique pour le compresseur.</p>	<p>2 l par chasse.</p>	<p>En porcelaine vitrifiée \$600 à \$875. En acier inoxydable \$800 à \$875. Compresseur d'air \$400.</p>	<p>Coût de l'eau et de l'électricité. Une famille de quatre personnes consomme 40 l d'eau par jour pour les chasses et 15 kWh par an pour le compresseur.</p>
<p><b>Cabinet à dépression</b></p> 	<p>Cabinet à dépression relié à un jeu de vannes et à une canalisation spéciale d'évacuation. Utilise la différence de pression créée par un vent aspiré dans les conduites pour transporter les unités d'eau usées par des conduites de petit calibre jusqu'à un réservoir central de réception à dépression.</p>	<p>Consomme peu d'eau et n'a pas de réservoir de chasse. Le réseau d'évacuation est en tuyaux de plastique de petit calibre qui peuvent être installés sans trop tenir compte des sujétions de pente. Les conduites à dépression peuvent être posées dans les mêmes tranchées que les conduites d'eau. Elles perdent moins de chaleur du fait des faibles volumes de fluides transportés. Peuvent être reliées à de nombreux cabinets dans un même immeuble ou une même collectivité.</p>	<p>Fonctionnement relativement complexe et coûteux à l'achat. Nécessite des pompes et consomme de l'énergie. L'installation demande un personnel qualifié.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 9,5 mm. Tuyau d'évacuation de 38 mm. Électrique au réservoir de réception pour la pompe de dépression.</p>	<p>1 l par chasse.</p>	<p>Pour un immeuble environ \$3500. Pour une collectivité variable.</p>	<p>Coût de l'eau et de l'électricité pour la pompe à dépression.</p>
<p><b>Cabinet à clapet étanche actionné mécaniquement</b></p> 	<p>Une pédale ou une poignée ouvre un clapet au bas de la cuvette et déclenche un tourbillon d'eau vive qui rince la cuvette. Il existe aussi des modèles portatifs avec réservoir de réception séparable pour le versement des matières.</p>	<p>Tourbillon d'eau vive mais très faible consommation d'eau. Pas de produits chimiques ni de recirculation. Peut être utilisé en modèle portatif avec réservoir de réception.</p>	<p>Les conduites d'égout s'obstruent à cause du faible volume de chasse. Ne devrait donc être utilisé qu'avec une chute à peu près verticale dans un réservoir de réception. Dans les modèles portatifs, le réservoir doit être vidangé et rechargé.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau variant de 0 à 9,5 mm. Tuyau d'évacuation de 75 mm au réservoir de réception.</p>	<p>0,5 l par chasse.</p>	<p>De \$75 à \$175.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau. Une famille de quatre personnes consomme environ 10 l par jour en chasses. Les modèles portatifs exigent un désodorisant chimique.</p>
<p><b>Cabinet de marine</b></p> 	<p>Une pompe à main ou électrique envoie de l'eau dans la cuvette. En tournant un robinet, la même pompe éjecte les matières. On peut pomper les matières vers le haut.</p>	<p>Consomme relativement peu d'eau. Peut pomper les matières vers le haut. Pompe à propreté eau et pourrait être utilisée comme cabinet à recirculation.</p>	<p>Se bouche assez facilement. Utilisation relativement compliquée. Les modèles électriques consomment de l'énergie.</p>	<p>Tuyau d'arrivée d'eau de 19 mm. Tuyau d'évacuation de 38 mm. Courant de 120V ou de 12V pour les modèles électriques.</p>	<p>1 l par chasse. Électricité pour certains modèles.</p>	<p>De \$100 à \$400.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau, et de l'électricité pour certains modèles.</p>
<p><b>Cabinet à recirculation</b></p> 	<p>Une pompe à main ou électrique envoie un tourbillon d'eau usée, filtrée et traitée chimiquement, de la chambre de réception pour nettoyer et rincer la cuvette. Quand la chambre est pleine, il faut la vidanger et la recharger d'eau et de produits chimiques. Il existe des modèles fixes ou portatifs.</p>	<p>Consomme très peu d'eau. Les modèles fixes peuvent être utilisés avec une plomberie classique. Débite en général dans un réservoir de réception.</p>	<p>Relativement compliqué. Certains grands modèles du commerce sont coûteux à l'achat. Exige la vidange et la recharge de produits chimiques tous les cinq jours pour une famille de quatre personnes.</p>	<p>Aucun branchement, ou courant de 120V ou de 12V, tuyau d'eau de 9,5 mm, et tuyau d'évacuation de 75 mm vers réservoir de réception ou vers égout.</p>	<p>0,2 l par chasse, en eau neuve. Électricité pour certains modèles.</p>	<p>De \$90 (portatifs) à \$350 (fixes). Jusqu'à \$3000 pour toilettes publiques.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau, et de l'électricité pour les modèles électriques à 12V. Une famille de quatre personnes consomme 4 l d'eau par jour. Le produit chimique coûte \$0,50 par charge ou \$0,10 par jour pour une famille de quatre personnes.</p>
<p><b>Cabinet à emballage</b></p> 	<p>Les matières tombent dans une cuvette doublée de plastique. Le tube continu de plastique est tiré vers le bas de la cuvette et soulé à chaud, formant un "chapelet de saucisses". Un sac de plastique sous le cabinet recueille les "saucisses" qui doivent être périodiquement enlevées.</p>	<p>La manipulation des matières est améliorée. Les odeurs et ruptures de sacs sont réduites au minimum par isolement de petites quantités de matières en "saucisses" séparées.</p>	<p>Coûteux à l'achat et à l'utilisation. Nécessite des doublures en plastique, des sacs de réception et de l'électricité. La collecte et le rejet final des sacs doivent être organisés et peuvent poser des problèmes.</p>	<p>Courant à 120V.</p>	<p>Électrique, pas d'eau.</p>	<p>De \$500 à \$1000.</p>	<p>Le fabricant affirme que la consommation d'électricité est de 1 kWh pour 3400 utilisations. Coût du changement périodique des sacs de réception et des doublures.</p>
<p><b>Cabinet réfrigérateur</b></p> 	<p>Les matières tombent dans un sac en plastique dans un petit compartiment congélateur. Quand il est plein, le sac est enlevé pour le ramassage et remplacé par un sac neuf.</p>	<p>La congélation prévient la décomposition et les odeurs. La manipulation des matières est beaucoup plus facile, plus saine et plus acceptable.</p>	<p>Relativement coûteux à l'achat. Consomme des sacs plastifiés et de l'électricité. Une panne de courant ou de congélateur retarde la décomposition. La collecte et le rejet final des sacs doivent être organisés et peuvent poser des problèmes.</p>	<p>Courant à 120V.</p>	<p>Électrique, pas d'eau.</p>	<p>Environ \$400.</p>	<p>Coût d'un compresseur de 120V et des sacs de réception.</p>

TABLEAU III DIVERS TYPES DE CABINETS (suite)

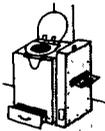
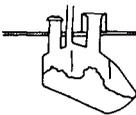
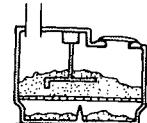
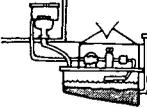
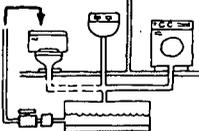
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<b>Cabinet incinérateur</b> 	<p>Les matières sont incinérées selon un cycle réglé après chaque utilisation. Les cendres doivent être enlevées périodiquement. Fonctionne à l'électricité ou au gaz.</p>	<p>Ne produit aucune matière liquide; très peu de cendres à évacuer Réduit la pollution</p>	<p>Consomme beaucoup d'énergie. Certains modèles nécessitent une doublure en papier de la cuvette à chaque utilisation Mécanisme relativement compliqué Doit être aéré.</p>	<p>Courant à 120V ou à 220V (conseillé), ou, par option, conduite de gaz de 9,5 mm, avec courant de 120V ou 12V au choix Tuyau d'aération de 100 mm</p>	<p>Electricité ou gaz, pas d'eau</p>	<p>Environ \$650 à \$1000</p>	<p>Dépend du coût de l'énergie. Consomme environ 0,1 m<sup>3</sup> de gaz ou 1 kWh par utilisation. Coût des doublures de cuvette et du catalyseur de contrôle des odeurs</p>
<b>Cabinet à compost (grand)</b> 	<p>Les ordures ménagères et les excréments humains sont digérés par des micro-organismes et produisent de l'engrais.</p>	<p>Le produit final, le compost, est utilisable comme engrais Réduit la pollution. Aucun branchement d'eau, d'égout ou d'électricité Pas de pièces mobiles. Peu d'entretien</p>	<p>Gros investissement pour l'unité et son installation. L'unité est très grande et nécessite un espace considérable en sous-sol</p>	<p>Tuyau d'aération de 150 mm</p>	<p>Neant</p>	<p>De \$1500 à \$2500</p>	<p>Néant. Est amorti par la valeur de l'engrais produit</p>
<b>Cabinet à compost (petit)</b> 	<p>Comme ci-dessus, mais plus compact. Utilise une circulation d'air forcé et de la chaleur pour accélérer le processus.</p>	<p>Pas de branchement d'eau ni d'égout L'unité est relativement petite et peut être installée dans un cabinet ordinaire. Le produit final, le compost, est utilisable comme engrais Réduit la pollution</p>	<p>Coûteux à l'achat et relativement compliqué à entretenir et à bien faire fonctionner. Demande un gros apport d'énergie et ne peut pas traiter un engorgement de choc de matières organiques et liquides</p>	<p>Courant à 120V Tuyau d'aération de 100 mm</p>	<p>Electricité, pas d'eau</p>	<p>De \$500 à \$1000</p>	<p>Besoin d'énergie de 1,2 à 5,75 kWh par jour pour le ventilateur et le chauffage.</p>
<b>Cabinet à fluide synthétique</b> 	<p>Le système utilise un fluide chimique spécial ou de l'huile minérale comme moyen de chasse. Les matières se décantent dans un réservoir de réception et le fluide est filtré et recyclé dans un cabinet ordinaire. Les matières doivent être évacuées par pompage chaque année.</p>	<p>Utilise les cabinets et la plomberie ordinaires, mais pas d'eau. Peut s'utiliser conjointement avec un incinérateur pour détruire les matières concentrées. Convient aux unités multiples telles que les camps ou les toilettes publiques.</p>	<p>Gros investissement pour l'unité et son installation. Relativement complexe et demande beaucoup d'espace. Nécessite le remplacement du fluide perdu et l'addition de produits chimiques de contrôle des odeurs. A besoin d'énergie pour les pompes et, éventuellement pour l'incinérateur, sinon les matières doivent être évacuées par pompage pour destruction.</p>	<p>Connexions au système de recyclage tuyau d'alimentation de 9,5 mm; tuyau d'évacuation de 75 mm. Electricité pour le système de recyclage</p>	<p>Electricité, pas d'eau</p>	<p>De \$2500 à \$5000</p>	<p>Coût du fluide de remplacement, des produits chimiques de contrôle des odeurs, et du courant pour les moteurs électriques</p>
<b>Système de traitement (recyclage)</b> 	<p>Recyclage, après filtrage et traitement, des eaux usées des cabinets et des autres appareils pour les chasses de cabinets. Les boues accumulées dans le réservoir doivent être évacuées par pompage une fois par an ou tous les deux ans.</p>	<p>Consomme peu ou pas du tout d'eau neuve. Certains modèles acceptent les eaux usées provenant d'autres appareils.</p>	<p>Coûteux à l'achat et à l'entretien. Nécessite des filtres, du désinfectant, du colorant, des pompes et du courant électrique</p>	<p>Connexions au système de recyclage et de traitement tuyau d'alimentation de 9,5 mm, tuyau d'évacuation de 75 mm. Electricité pour le système de recyclage et de traitement</p>	<p>Electricité Réutilise l'eau usée</p>	<p>De \$2500 à \$5000</p>	<p>Coût du désinfectant du colorant, des filtres et de l'électricité</p>
<b>Urinoirs</b> 	<p>Une poignée déclenche l'éjection d'eau à grande vitesse qui siphonne les matières liquides à travers une trappe.</p>	<p>Les modèles à faible volume de chasse consomment très peu d'eau, comparés aux cabinets ordinaires. Utilisent la plomberie classique. Sont d'un emploi courant dans les toilettes publiques.</p>	<p>Adjonction relativement coûteuse aux cabinets de maison. Ne traite que les matières liquides. Peu accepté par les consommateurs à cause de l'image institutionnelle et publique.</p>	<p>Tuyau d'eau de 9,5 mm Tuyau d'évacuation de 50 mm.</p>	<p>De 4 à 15 l par utilisation</p>	<p>De \$75 à \$150</p>	<p>Dépend du prix de l'eau</p>

TABLEAU IV DIVERS TYPES DE BAINS ET DOUCHES

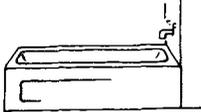
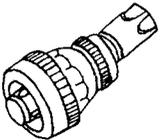
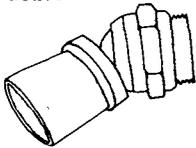
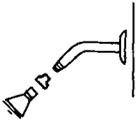
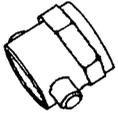
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branche- ments à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonction- nement
<p><b>Baignoires</b></p> 	<p>En porcelaine vitrifiée, en fibre de verre ou en métal, la baignoire est remplie d'un mélange d'eau chaude et d'eau froide pour le bain.</p>	<p>Facilite l'hygiène personnelle et la relaxation. Peut être employée sans système de plomberie, et l'eau peut être réutilisée. Le niveau auquel la baignoire est remplie n'a pas besoin d'être excessif, et la consommation est indépendante de la durée du bain. L'eau peut être laissée dans la baignoire pour récupérer sa chaleur avant de la vider.</p>	<p>Consomme une quantité relativement constante d'eau par bain. Les grandes baignoires, avec ou sans bain-tourbillon, consomment de grandes quantités d'eau. La plupart ne sont pas conçues pour se conformer au corps humain, ni isolées pour réduire les pertes de chaleur.</p>	<p>Aucun branchement, ou tuyau de 9,5 mm pour l'alimentation en eau chaude et en eau froide, et de 38 mm pour l'évacuation.</p>	<p>Varie avec les dimensions de la baignoire et les habitudes des usagers. Environ 150 l par bain.</p>	<p>En tôle galvanisée, de \$30 à \$50, en porcelaine vitrifiée ou en fibre de verre, de \$80 à \$250.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau, et de l'énergie pour le chauffage de l'eau.</p>
<p><b>Pommes de douche classiques</b></p> 	<p>Un mélange d'eau chaude et froide est déversé par une tête percée de petits trous pour diffuser le jet.</p>	<p>Méthode commode et rapide pour se laver et se rincer. La consommation d'eau peut se régler par le temps que l'on passe sous la douche.</p>	<p>Doit être raccordée à des conduites d'eau et d'égout. Exige une cabine. La consommation est élevée, surtout avec la pomme de type "mousseuse". Des réducteurs installés sur certains modèles peuvent nuire à la qualité de la douche et la rendre peu agréable, ainsi que les systèmes à basse pression.</p>	<p>Tuyaux d'eau chaude et froide de 9,5 mm et tuyau d'évacuation de 38 mm.</p>	<p>De 15 à 40 l/mn, en moyenne 25 l/mn, la pomme mousseuse consomme 55 l/mn. Une douche dure normalement 5 mn.</p>	<p>Type normal de \$5 à \$25, en moyenne \$8. Pomme mousseuse de \$20 à \$50.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau et de l'énergie. Une famille de quatre personnes prenant chacune une douche de 5 mn tous les 2 jours consomme environ 250 l/j dont la moitié en eau chaude.</p>
<p><b>Douches à faible débit</b></p> 	<p>Comme ci-dessus, mais moindre débit. Des modèles aérateurs mélangent l'air et l'eau.</p>	<p>Comme ci-dessus, mais consomme moins d'eau et d'énergie de chauffage de l'eau pour un même temps passé sous la douche sans nuire à sa qualité. Les modèles aérateurs consomment moins d'eau. La plupart fonctionnent bien sur des systèmes à basse pression en produisant un débit constant quelles que soient les variations de pression.</p>	<p>Généralement un peu plus coûteuse que la pomme de douche classique et la diffusion du jet est souvent plus étroite. Certains préfèrent la douche à faible débit, en particulier pour le lavage des cheveux. Sur les modèles aérateurs, la diffusion du jet n'est pas réglable.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>	<p>De 5 à 12 l/mn, en moyenne 9 l/mn.</p>	<p>De \$5 à \$25, en moyenne \$10.</p>	<p>Comme ci-dessus, mais la consommation familiale est réduite à environ 90 l/j dont moitié d'eau chaude.</p>
<p><b>Réducteurs de débit</b></p> 	<p>Opércules de petit diamètre qui réduisent le débit. Consistent soit en une pièce à insérer qui glisse dans le tuyau d'alimentation de la douche, soit en une pièce autonome qui se fixe sur le tuyau d'eau avant la pomme de douche.</p>	<p>Modification peu coûteuse pour réduire le débit d'une pomme de douche classique. Peut être fabriquée par l'occupant avec une rondelle de caoutchouc de petit diamètre intérieur.</p>	<p>Peut nuire à la qualité de la douche, sur certains types de pommes de douche classiques.</p>	<p>Se fixe, se visse, ou s'insère en amont de la pomme de douche.</p>	<p>De 8 à 12 l/mn, en moyenne 10 l/mn.</p>	<p>De \$1 à \$6.</p>	<p>Comme la douche classique, mais consommation réduite à environ 100 l/j dont moitié d'eau chaude.</p>
<p><b>Robinet "Marche-Arrêt"</b></p> 	<p>Robinet placé entre la potence et la pomme de douche, permettant d'arrêter le débit sans toucher aux autres réglages. Certaines pommes de douche ont un tel robinet incorporé.</p>	<p>Economise l'eau en permettant à l'utilisateur d'arrêter le débit quand il n'est pas sous la douche, se savonne, se lave les cheveux, etc. Certains modèles laissent, en position d'arrêt, couler un filet d'eau pour maintenir la température choisie.</p>	<p>La température de l'eau dans la colonne montante ou dans la conduite d'alimentation peut changer pendant que le robinet est à l'arrêt. L'utilisateur peut sentir le froid quand le jet est arrêté.</p>	<p>Se fixe en amont de la pomme de douche.</p>	<p>Varie avec le débit et les habitudes des usagers.</p>	<p>De \$2 à \$5.</p>	<p>Dépend du débit et des habitudes des usagers. L'économie d'eau peut varier de 0 à 50%.</p>
<p><b>Robinet mélangeurs à thermostat</b></p> 	<p>Contrôle les variations de température des conduites d'alimentation d'eau chaude et d'eau froide au moyen d'un couple thermoélectrique sensible. Les deux métaux du couple, se dilatant différemment, agissent par effet de ressort sur le mécanisme intérieur qui contrôle les arrivées d'eau chaude et d'eau froide, maintenant ainsi un rapport constant entre ces deux arrivées. Possède deux commandes, l'une pour sélectionner la température, l'autre pour régler le débit.</p>	<p>Assure la constance de la température choisie quelles que soient les variations de température, de débit ou de pression dans les conduites d'alimentation en eau chaude ou froide. Accroît l'agrément de l'usage, son confort et sa sécurité en réagissant rapidement aux variations de température des conduites d'alimentation. Un même robinet peut contrôler douches et baignoire, et d'autres appareils.</p>	<p>Coûte deux ou trois fois le prix d'un robinet ordinaire.</p>	<p>Tuyaux d'alimentation en eau chaude et en eau froide de 9,5 mm, et tuyau d'alimentation de la pomme de douche.</p>	<p>Sans objet. Réduit le gaspillage.</p>	<p>Environ \$70.</p>	<p>Neant.</p>

TABLEAU IV DIVERS TYPES DE BAINS ET DOUCHES (suite)

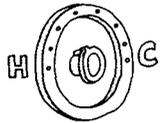
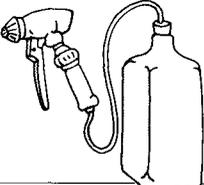
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<b>Robinetts mélangeurs équilibrés de pression</b> 	<p>Conçu spécialement pour les douches, il compense instantanément les variations de pression dans l'une ou l'autre des tuyauteries d'eau chaude ou froide généralement causées par l'utilisation d'autres appareils, maintenant ainsi la constance du débit choisi. donc aussi de la température de la douche.</p>	<p>Évite l'inconfort et le gaspillage d'eau en maintenant une température de douche constante</p>	<p>Ne compense pas les variations de température de la source, a moins de variations simultanées de pression Coûte environ deux fois plus qu'un robinet ordinaire</p>	<p>Tuyaux d'alimentation en eau chaude et en eau froide de 9,5 mm, et tuyau d'alimentation de la pomme de douche</p>	<p>Sans objet Réduit le gaspillage</p>	<p>Environ \$50</p>	<p>Néant</p>
<b>Douche-téléphone</b> 	<p>Pomme de douche munie d'un court tuyau souple pour usage manuel. Peut être montée en permanence dans une cabine de douches, ou branchée sur un robinet d'évier.</p>	<p>Permet d'avoir le jet ou on veut avec le minimum d'inconvénients. Existe avec réducteur de débit et robinet MA incorporés. Peut être accrochée au mur en permanence ou branchée sur un robinet quelconque. Peut servir en complément d'une pomme de douche classique ou à faible débit, en particulier pour se laver les cheveux.</p>	<p>Danger possible de contamination par rétroaspiration. Mobilise une main si elle n'est pas fixée au mur. Les opérations de mouillage et de rasage peuvent être inconfortables pour certaines personnes.</p>	<p>Robinet ou sortie de douche, et tuyau d'évacuation de 38 mm.</p>	<p>De 4 à 30 l/mn. Plus forte avec les douches massives</p>	<p>De \$10 à \$30</p>	<p>Dépend des prix et des habitudes des usagers. Faible consommation de 10 l par douche.</p>
<b>Douche à pulsion d'air</b> 	<p>Un petit compresseur d'air envoie de l'air à une pomme de douche spéciale où l'air et l'eau se mélangent pour donner un jet finement pulvérisé.</p>	<p>Très faible consommation d'eau tout en permettant un lavage satisfaisant. Peut utiliser un chauffe-eau en série, n'a alors pas besoin d'une alimentation d'eau chaude. L'avantage économique principal est l'énergie économisée en chauffage d'eau.</p>	<p>Achat et installation coûteux. Le long délai pour avoir l'eau chaude de la conduite rend nécessaire un chauffe-eau en série, une circulation d'eau chaude, ou un réservoir d'eau chaude à proximité. Exige une cabine de douches fermée. Il faut un compresseur à chaque douche. Peu agréable pour certaines personnes.</p>	<p>Tuyaux d'eau chaude et froide de 9,5 mm, tuyau d'évacuation de 38 mm. Courant de 120V pour le compresseur.</p>	<p>2 l/mn</p>	<p>\$325.</p>	<p>Dépend des prix. Une famille de quatre personnes consomme 20 l par jour, dont moitié d'eau chaude. Un compresseur de 400 W consomme 25 kWh par an.</p>
<b>Douche à jet atomiseur</b> 	<p>L'eau à la température voulue est amenée à un bec atomiseur qui produit un jet finement pulvérisé (brouillard). Le jet d'eau atomisée chasse les cellules superficielles, la saleté et le savon.</p>	<p>Consomme extrêmement peu d'eau. Les modèles existants contiennent leur propre réserve d'eau et n'ont besoin d'aucun branchement d'eau, d'égoût ou d'électricité, de plus, ils sont portatifs.</p>	<p>Il faut longtemps pour avoir une douche complète. Dispersion du jet si on n'est pas dans un espace clos. Peut nécessiter un système complémentaire pour le lavage des cheveux. La technique et la plomberie ne sont pas encore au point pour les maisons classiques. Bien des gens n'aiment pas cette douche.</p>	<p>Aucun pour les modèles autonomes.</p>	<p>Très faible 1 l par douche</p>	<p>Environ de \$5 à \$30</p>	<p>Négligeable.</p>



TABLEAU VI DIVERS ACCESSOIRES POUR ÉCONOMISER L'EAU

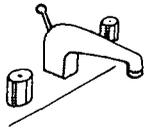
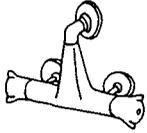
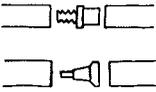
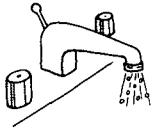
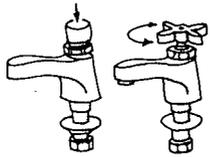
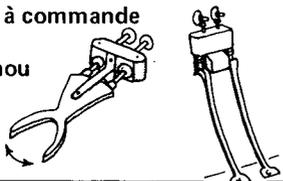
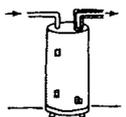
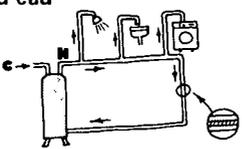
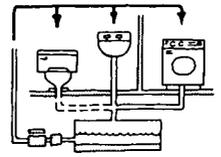
	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<b>Robinetts classiques</b> 	<p>Le débit de la conduite d'alimentation est contrôlé par un joint de caoutchouc qui s'applique sur un siège. Le joint, fixé sur la tige du robinet, est manoeuvré par une poignée. Il existe un modèle à bec simple, et un modèle à deux corps séparés pour l'eau chaude et l'eau froide.</p>	<p>Contrôle le débit d'eau. Les robinets sans rondelle, avec un disque en céramique au lieu de caoutchouc, résistent mieux à l'eau, à l'usure mécanique, et aux températures de fonctionnement jusqu'à 80 °C.</p>	<p>Les gros débits ne sont pas réduits. Dans les robinets à joint de caoutchouc, l'usure de la rondelle se traduit par des fuites et des pertes d'eau.</p>	<p>Tuyaux d'alimentation en eau chaude et en eau froide.</p>	<p>De 20 à 50 l/mn.</p>	<p>De \$15 à \$40. Modèles sans rondelle de \$30 à \$50.</p>	<p>Dépend du prix de l'eau et de son chauffage.</p>
<b>Robinetts mélangeurs</b> 	<p>Simple robinet avec une poignée de commande qui règle à la fois le débit et la température de l'eau.</p>	<p>Le débit et la température voulus peuvent être rapidement choisis et réglés d'une seule main, ce qui réduit le gaspillage. Modèle compact.</p>	<p>Plus coûteux qu'un robinet classique.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>	<p>Réduit le gaspillage.</p>	<p>De \$30 à \$50.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>
<b>Robinetts à jet diffusé</b> 	<p>Simple robinet qui produit un jet diffusé, un peu comme une pomme de douche. Le débit est pré-régulé, et le bouton de commande ne sert qu'à ouvrir ou fermer, et à régler la température.</p>	<p>Exige une pression minimum de 13 kPa, idéale pour les systèmes à réservoir débitant par gravité. Compact, et compatible avec de petits calibres de tuyaux d'alimentation et d'évacuation. Utilisable avec un chauffe-eau en série, ce qui dispense d'une alimentation d'eau chaude.</p>	<p>Ne convient pas pour remplir des récipients, à cause de son trop faible débit. Bien connus, on en voit dans toutes les toilettes publiques. Un peu plus chers que les robinets classiques comparables.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>	<p>De 2 à 3,5 l/mn.</p>	<p>\$45.</p>	<p>Comme ci-dessus.</p>
<b>Robinetts mélangeurs à thermostat</b> 	<p>Les variations de température des conduites d'eau chaude et d'eau froide sont contrôlées par un couple thermoélectrique sensible. Les deux métaux du couple, se dilatant différemment, agissent par effet de ressort sur le mécanisme interne qui contrôle les arrivées d'eau chaude et d'eau froide, maintenant ainsi un rapport constant entre ces deux arrivées. Possède deux commandes, l'une pour sélectionner la température, l'autre pour régler le débit.</p>	<p>Assure la constance de la température choisie quelles que soient les variations de température, de débit ou de pression dans les conduites d'alimentation en eau chaude ou froide. Accroît l'agrément de l'usage, son confort et sa sécurité en réagissant rapidement aux variations de température des conduites d'alimentation. Un même robinet peut commander plusieurs appareils.</p>	<p>Coûteux et généralement utilisés en complément d'autres robinets.</p>	<p>Tuyaux d'alimentation en eau chaude et en eau froide de 9,5 mm, et tuyau d'alimentation du robinet.</p>	<p>Les économies d'eau par rapport aux robinets classiques dépassent 40%.</p>	<p>Environ \$70.</p>	<p>Néant.</p>
<b>Réducteurs de débit</b> 	<p>Réduisent le débit au moyen d'un opercule de petit calibre inséré ou intercalé à joints filetés dans la conduite en amont des appareils ou au bec d'un robinet. La plupart compensent les variations de pression dans la conduite et donnent un débit constant.</p>	<p>Réduisent le débit lorsqu'il est trop élevé. Peu coûteux et généralement faciles à installer en modification. Certains robinets ont un réducteur incorporé. Existents en différents maximums de débit.</p>	<p>Les modèles à intercaler obligent à couper la conduite existante. Certains usagers peuvent trouver le débit trop faible. Prennent longtemps pour remplir un récipient. Aucune économie d'eau pour remplir des récipients tels qu'un verre ou une baignoire.</p>	<p>S'insèrent ou se vissent dans la conduite d'alimentation.</p>	<p>De 8 à 12 l/mn, en moyenne 10 l/mn.</p>	<p>De \$1 à \$6.</p>	<p>Néant.</p>
<b>Aérateurs</b> 	<p>Se fixent au bec du robinet. Donnent l'impression d'un débit plus important qu'en réalité parce qu'ils divisent le jet et y introduisent des bulles d'air.</p>	<p>Diminuent un peu le débit, mais l'avantage essentiel est la réduction de consommation due à l'impression d'un débit plus élevé. Un jet aéré coule agréablement et n'éclabousse pas. Les robinets neufs sont en général munis d'un aérateur, mais cet accessoire peu coûteux est facile à installer sur le bec d'un robinet existant. Certains aérateurs sont munis d'un réducteur de débit qui augmente l'économie d'eau.</p>	<p>Peuvent ne pas s'adapter à tous les vieux modèles de robinets sans un adaptateur. Réduisent un peu le débit.</p>	<p>Filetage du bec du robinet.</p>	<p>De 10 à 25 l/mn.</p>	<p>De \$1 à \$5.</p>	<p>Néant.</p>

TABLEAU VI DIVERS ACCESSOIRES POUR ÉCONOMISER L'EAU (suite)

	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients	Branchements à faire	Consommation	Coût approximatif	
						Investissement	Fonctionnement
<b>Robinet à fermeture automatique</b> 	<p>Robinet à ressort, qui coupe l'arrivée d'eau dès qu'on lâche la poignée. Les robinets à minuterie sont de simples robinets à débit et température pré-réglés qui sont automatiquement arrêtés par la pression d'eau accumulée.</p>	<p>Réduisent le gaspillage en ne fonctionnant que pendant le temps strictement nécessaire. Ne demeurent pas ouverts après usage ou quand il n'y a personne. Compatibles avec les robinets mélangeurs à thermostat.</p>	<p>Ne fonctionnent pas quand il n'y a personne. Ne sont donc pas pratiques dans les maisons. Les robinets à ressort à eau chaude et à eau froide séparés sont malcommodes, on ne peut obtenir de l'eau tiède qu'en mélangeant de l'eau chaude et de l'eau froide dans un récipient. Ne permettent pas la sélection de la température ni du débit.</p>	<p>Tuyaux d'eau chaude et d'eau froide.</p>	<p>Réduisent le gaspillage.</p>	<p>De \$30 à \$40</p>	<p>Dépend du prix de l'eau et de son chauffage.</p>
<b>Robinet à commande au pied ou au genou</b> 	<p>On actionne le robinet en appuyant du pied ou du genou sur un levier qu'il suffit de réchauffer pour que le robinet se ferme automatiquement.</p>	<p>Réduisent le gaspillage car l'eau ne coule que tant qu'on appuie sur le levier. N'exigent pas l'intervention des mains, ce qui les rend commodes et salubres.</p>	<p>L'achat et les modifications à l'installation existante sont coûteux. Certains modèles ne permettent pas la sélection de la température ou du débit. Exigent une présence pour fonctionner.</p>	<p>Montage au sol ou sur placard, et commandes sur les tuyaux d'eau chaude et froide.</p>	<p>Réduisent le gaspillage.</p>	<p>De \$75 à \$120</p>	<p>Neant</p>
<b>Régulateur de pression</b> 	<p>Un ressort réglable modifie la pression sur une membrane de caoutchouc qui, à son tour, maintient la pression d'eau de l'immeuble à une valeur pré-réglée inférieure à celle de la conduite principale.</p>	<p>Utilisé lorsqu'une pression trop élevée dans la conduite principale risque de faire sauter les joints, ou de causer des bruits excessifs des vibrations et des fuites. En réduisant le débit maximum, réduit également la consommation d'eau et le gaspillage. Assure une pression d'eau constante dans l'immeuble.</p>	<p>La réduction de la pression et, par suite du débit, accroît le temps qu'il faut pour obtenir un volume déterminé d'eau.</p>	<p>Branché sur la conduite d'alimentation en eau de l'immeuble.</p>	<p>Économise de l'eau à tous les appareils.</p>	<p>\$30.</p>	<p>Néant</p>
<b>Isolation des conduites</b> 	<p>L'isolation est placée sur les conduites de façon à les envelopper en général sur les conduites d'eau chaude seulement, pour réduire les pertes de chaleur et contribuer à maintenir constante la température de l'eau dans les conduites.</p>	<p>Réduit les pertes de chaleur et le taux de refroidissement de l'eau dans les conduites et par suite réduit également le gaspillage de l'eau qui reste immobilisée dans les tuyaux.</p>	<p>Peut être difficile, coûteuse et malcommode à placer sur une installation existante.</p>	<p>Néant.</p>	<p>Économise environ 7,5 l par personne et par jour.</p>	<p>De \$1 50 à \$3 par mètre.</p>	<p>Néant</p>
<b>Circulation d'eau</b> 	<p>Les conduites d'eau dans l'immeuble ou dans une zone particulière sont bouclées par un retour au réservoir d'eau chaude, et une petite pompe fait circuler l'eau dans la boucle. Les immeubles qui ont une alimentation en eau indépendante n'ont besoin que d'une conduite de retour de chaque robinet au réservoir et d'une vanne pour la vidange. Les robinets et autres appareils s'alimentent sur la boucle. Ne se fait en général que pour les conduites d'eau chaude.</p>	<p>Élimine l'obligation de gaspiller l'eau refroidie par stagnation dans la conduite entre le réservoir d'eau chaude et le robinet avant que l'eau n'arrive chaude. Fournit instantanément de l'eau chaude puisque toute la boucle est maintenue à la température du réservoir. La pompe de circulation peut être munie d'une minuterie ou d'un thermostat pour réduire les pertes de chaleur et le temps de fonctionnement de la pompe.</p>	<p>La modification d'une installation existante peut être malcommode. Pertes de chaleur accrues, en particulier si les conduites ne sont pas isolées, et si la pompe n'est pas munie d'une minuterie. La circulation de l'eau nécessite une pompe.</p>	<p>Pompe de circulation (électrique) et tuyaux de retour.</p>	<p>Réduit le gaspillage.</p>	<p>Pompe \$100. Plombier \$25.</p>	<p>Selon la puissance nominale de la pompe.</p>
<b>Systèmes de recyclage</b> 	<p>Les eaux usées de la maison sont collectées et traitées pour réutilisation. Certains systèmes ne recyclent que les eaux sales et ne peuvent recycler pour produire de l'eau potable ou de l'eau de cuisson. Les méthodes de traitement peuvent inclure la précipitation chimique ou biologique, la filtration, l'adsorption par le carbone, l'exosmose, la distillation, la désinfection et d'autres.</p>	<p>Réduit la demande totale d'eau à zéro ou au minimum. L'immeuble peut être indépendant de tout réseau d'alimentation ou d'évacuation.</p>	<p>Achat et fonctionnement coûteux. Technique compliquée, entretien trop difficile pour la plupart des occupants. Le recyclage des eaux usées, sauf pour les chasses de cabinets est insalubre et, pour beaucoup, esthétiquement inacceptable. Nécessite de l'énergie, des produits chimiques et les services périodiques d'un personnel qualifié. Occupe de la place et peut exiger un système de rechange pour les cas d'urgence.</p>	<p>Électricité pour le système de traitement et les pompes. Conduite de recyclage et système de secours.</p>	<p>Dépend du système.</p>	<p>De \$2500 à \$5000</p>	<p>Coût de l'énergie et des produits chimiques. Coût recommandé pour services mensuels. Coût de l'eau neuve et de l'eau d'appoint.</p>

valeur actuelle dépend du coût unitaire de l'eau, de l'élimination des eaux usées, et de l'énergie, du nombre d'utilisateurs ou du volume utilisé, de même que les frais d'E&E, chaque nouvelle installation ou chaque modification apportée à une installation présentera un cas particulier. On peut utiliser les coûts unitaires marginaux, déduction faite des subventions, pour déterminer les coûts, mais ils sont souvent difficiles ou impossibles à obtenir.

Les considérations économiques varient pour chaque réseau de services publics et pour chaque localité. Une analyse précise, qui serait très complexe, devrait s'appuyer sur les variations dans le total des coûts pour les services publics et pour les consommateurs, surtout lorsqu'il y a une forte baisse de la consommation d'eau due à l'utilisation simultanée d'un certain nombre de dispositifs. Afin de simplifier l'analyse économique, dans le présent document, nous nous sommes appuyés sur un prix unitaire X pour obtenir des résultats caractéristiques. Nous avons choisi un taux élevé et un taux faible, tant pour le système de transport par véhicule que pour les réseaux de canalisations, puis nous avons supposé une maisonnée de quatre personnes pour chaque catégorie de consommation de l'eau. Les conditions tarifaires étaient les suivantes :

- 1<sup>re</sup> hypothèse : Réseau de canalisations d'eau et d'égout à \$0,10/1 000 l  
Électricité à \$ 0,05/kWh
- 2<sup>e</sup> hypothèse : Réseau de canalisations d'eau et d'égout à \$1/1 000 l  
Électricité à \$ 0,20/kWh
- 3<sup>e</sup> hypothèse : Système de distribution et de collecte par véhicule à \$10/1 000 l  
Électricité à \$ 0,05/kWh
- 4<sup>e</sup> hypothèse : Système de distribution et de collecte par véhicule à \$20/1 000 l  
Électricité à \$0,20/kWh

L'analyse du rapport coût/bénéfice a été effectuée aussi bien pour la modification d'une installation déjà existante que pour une nouvelle installation. L'analyse de la valeur actualisée rassemble tous les coûts, comme si un seul organisme, ou le consommateur, payait la totalité des coûts associés à la consommation de l'eau et aux dispositifs de conservation. Puisque la monnaie tend à se dévaloriser, un taux de 10 p. cent a été appliqué pour actualiser les coûts futurs et permettre ainsi une comparaison valable des différentes options. Celles-ci doivent être considérées à la lumière d'une durée commune, mais la véritable longévité n'est pas connue dans beaucoup de cas, et de nombreux appareils sont remplacés avant qu'ils soient inutilisables. Une longévité de 10 ans est généralement supposée pour les calculs, les tarifs et les prix étant ceux de janvier 1979.

**Diverses modifications à apporter aux cabinets.** — Les toilettes utilisent plus d'eau que tout autre appareil de plomberie dans une maison. Le cabinet de toilette classique, dont le réservoir a une capacité d'environ 20 litres, peut facilement être modifié par le propriétaire afin de réduire la consommation d'eau par chasse. Les modifications vont de l'utilisation de dispositifs très simples à bricoler, comme des poids et des bouteilles de plastique que l'on insère dans le réservoir, à des bâtardeaux manufacturés peu coûteux ou encore des mécanismes à double action. Lorsque la pression de l'eau est constante dans les canalisations, on peut faire une modification plus coûteuse qui consiste à remplacer le réservoir existant par un petit réservoir sous pression.

Il existe un certain nombre de toilettes à faible consommation d'eau. Parmi les toilettes à chasse, ce sont les modèles européens qui consomment le moins d'eau. Ils fonctionnent selon le même principe que les modèles nord-américains classiques, mais la chasse s'effectue plus rapidement, la vitesse d'évacuation étant pratiquement identique. La figure 2 est tirée d'une étude par Konen et DeYoung (1975).

Les toilettes à chasse d'eau qui consomment le moins d'eau fraîche sont les toilettes à recirculation. Elles nécessitent un volume d'eau initial ainsi que des produits chimiques ou d'autres additifs. Il est aussi possible de se procurer des toilettes qui n'utilisent pas d'eau. Il est important de savoir que toutes ces toilettes ne conviennent pas à toutes les situations. Par exemple, un cabinet à clapet étanche actionné mécaniquement doit être installé directement au-dessus d'un réservoir de collecte, et la toilette de trois litres doit être reliée au réservoir par une conduite d'égout de 100 mm ayant une pente minimale de 3 p. cent et une longueur maximale de 25 m. En outre, divers autres systèmes, y compris les systèmes de recyclage, sont d'une exploitation trop complexe pour la majorité des usagers, surtout dans le cas des localités éloignées.

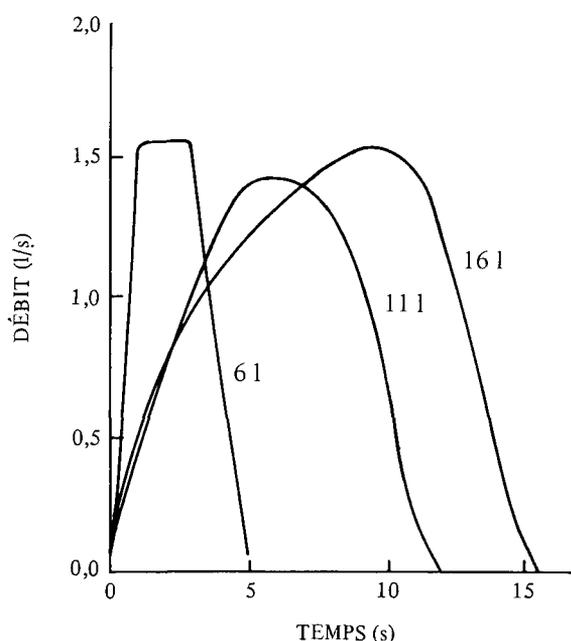


Figure 2 Caractéristiques d'écoulement des toilettes à chasse de 6, 11 et 16 litres

Le tableau 7 donne le coût en capital, le coût de l'installation et les exigences d'exploitation de 25 types de cabinets. Il présente également des équations générales de valeur actualisée tant pour les modifications apportées à une installation que pour une nouvelle installation, et ces équations servent à calculer la valeur actualisée de chaque option pour une famille de quatre personnes dans le cas d'une modification apportée à une installation. Pour faciliter la comparaison, les options sont classées dans l'ordre croissant de la valeur actualisée. Dans la plupart des cas, la valeur actualisée est fonction du tarif des services d'adduction d'eau et de collecte des eaux usées ( $T_s$ ) multiplié par le nombre de fois où les cabinets sont utilisés au cours de l'année ( $U$ ). Les résultats sont indiqués à la figure 3 pour les modifications et à la figure 4 pour l'installation d'équipement neuf. Ces chiffres sont applicables à toutes les valeurs  $T_s.U$ ; il est donc facile de déterminer la valeur actualisée de chaque option, de même que l'option la moins coûteuse. Afin de présenter dans un même diagramme les valeurs  $T_s.U$  des réseaux de canalisations et des systèmes de transport par véhicule, on a élargi l'échelle entre zéro et dix. Puisque les choix sont relativement clairs, l'échelle n'excède pas une valeur de 70. Toutes les possibilités ne figurent pas au tableau, car il nous a semblé important de conserver une grande échelle et de réduire les éléments superflus. Nous n'avons pas retenu, en particulier, les systèmes très coûteux n'utilisant pas d'eau.

Dans le cas d'un réseau de canalisations, toutes les modifications suggérées pour les cabinets classiques sont économiques et elles sont toujours à conseiller. Lorsque les tarifs d'eau ou d'égout sont élevés, ou que la consommation est importante, on devrait songer sérieusement à remplacer les cabinets classiques. Lorsqu'il s'agit d'une nouvelle installation, on ne devrait choisir ce type de cabinet que lorsque la valeur  $T_s.U$  est inférieure à 0,5. Pour les valeurs situées entre 0,5 et 2,5 on devrait installer soit des cabinets à trappe peu profonde (dotés ou non d'un mécanisme à double action), soit des cabinets classiques auxquels on aura apporté une des modifications simples. Dans le cas des valeurs  $T_s.U$  supérieures à 2,5 (soit seulement 6,8 utilisations par jour à \$1/1 000 l), on devrait adopter le modèle européen de six litres, bien que les toilettes à recirculation soient légèrement plus économiques pour des tarifs ou des taux d'utilisation plus élevés.

Tableau 7 Coût initial, coût d'exploitation et analyse économique des divers types de cabinets

Options		Coûts initiaux			Exigences d'exploitation		Équations de valeur actualisée(3)	Valeur actualisée pour modification d'une installation								
Code	Désignation	En capital	Installation (I)		Eau (1)	Autres		Réseaux de canalisations				Transport par véhicule				
		\$	Modifi- cation(1)	Nouvelle(2) installation				T <sub>s</sub>	T <sub>e</sub>	U	T <sub>s</sub> ·U	Classement	\$0,10/1 000 l	\$0,05/kWh	\$1/1 000 l	\$0,20/kWh
			\$	\$					Op.	VA(\$)	Op.	VA(\$)	Op.	VA(\$)	Op.	VA(\$)
1	Cabinet classique	100	0 <sup>(1)</sup>	250	20		I + 122,9 T <sub>s</sub> ·U	1 <sup>er</sup>	1b	62	1d	485	10	329	10	509
1a	Bouteilles en plastique	0	0	250	18		I + 110,6 T <sub>s</sub> ·U	2 <sup>e</sup>	1c	64	4	496	12	618	12	690
1b	Poids	2	12	262	14		I + 86,0 T <sub>s</sub> ·U	3	1a	65	1e	499	10a	629	10a	809
1c	Mécanismes à double action	4	14	264	14		I + 86,0 T <sub>s</sub> ·U	4	1d	65	2a	500	11	759	11	1 117
1d	Bâtardeaux	8	18	268	13		I + 79,9 T <sub>s</sub> ·U	5	1	72	1b	514	5	1 400	19a	2 150
1e	Réservoir de remplacement	90	140	360	10		I + 61,4 T <sub>s</sub> ·U	6	1e	176	1c	516	17	1 510	5	2 474
2	Cabinet à trappe peu profonde	115	145	265	13,5		I + 82,9 T <sub>s</sub> ·U	7	2	193	12	553	8	1 868	8	2 587
2a	Mécanisme à double action	119	159	279	9,5		I + 58,4 T <sub>s</sub> ·U	8	2a	193	2	629	19a	2 150	14	2 635
3	Modèle européen de 9 l				9		I + 55,3 T <sub>s</sub> ·U	9	7	270	1a	646	4	2 441	13	2 985
4	Modèle européen de 6 l	180	280	330	6		I + 37,0 T <sub>s</sub> ·U	10	4	302	7	674	9	2 538	16	3 000
5	Modèle européen de 3 l	225	325	375	3		I + 18,4 T <sub>s</sub> ·U	11	12	547	1	718	14	2 635	9	3 076
6	Double action britannique				6,6		I + 40,6 T <sub>s</sub> ·U	12	8	1 157	8	1 222	13	2 985	17	3 190
7	Cabinet à chasse sous pression	150	225	300	12,5		I + 76,8 T <sub>s</sub> ·U	13	17	1 510	9	2 054	16	3 000	18	3 960
8	Cabinet à air comprimé	1 050	1 150	1 300	2	2W/util.(4)	I + 12,3 T <sub>s</sub> ·U	14	9	2 005	19a	2 150	15	3 052	19	3 960
9	Cabinet à dépression	1 500	2 000	2 000	1,5	(4)	I + 9,21 T <sub>s</sub> ·U	15	19a	2 150	14	2 635	2a	3 570	4	4 602
10	Cabinet à clapet étanche actionné mécaniquement	90	150	270	0,5		I + 3,07 T <sub>s</sub> ·U	16	14	2 635	13	2 985	1c	3 726	2a	6 980
10a	Réservoir de chasse d'eau	225	450	575	0,5		I + 3,07 T <sub>s</sub> ·U	17	13	2 985	16	3 000	18	3 960	1e	7 312
11	Cabinet de marine	300	400	500	1		I + 6,14 T <sub>s</sub> ·U	18	16	3 000	17	3 190	19	3 960	7	9 195
12	Cabinet à recirculation	300	400	500	0,2	\$0,004/util. (4,5)	I + (1,22 T <sub>s</sub> + 0,025)U	19	15	3 052	18	3 960	1d	4 684	1d	9 350
13	Cabinet à emballage	750	825	800	0	(6)	I + 12 P	20	18	3 960	19	3 960	7	4 710	15	9 508
							I + 12 P	21	19	3 960	15	9 508	2	4 986	2	9 828
14	Cabinet réfrigérateur	400	475	450	0	(6)	I + 12 P	22					1b	5 034	1b	10 056
15	Cabinet incinérateur	750	900	850	0	1,2 kWh/util.(7)	I + 7,37 T <sub>e</sub> ·U	23					1c	5 036	1c	10 058
16	Cabinet à compost (grand)(7)	2 300	3 000	2 750	0		I + 0	24					1a	6 460	1a	12 918
17	Cabinet à compost (petit)	750	950	900	0	5 kWh/d	I + 11 200·T <sub>e</sub>	25					1	7 177	1	14 354
18	Cabinet à fluide synthétique	2 750	3 500	3 250	0	\$75/an(8)	I + 460 + E									
19	Système de traitement (recyclage des eaux grises)	2 750	3 500	3 250	0	\$75/an(8)	I + 460 + E									
19a	Système de traitement (pour les chasses de cabinets)(9)	1 250	2 000	1 750	0	\$25/an(8)	I + 150 + E									

- 1) En supposant qu'un cabinet classique est déjà installé et devra donc être enlevé, si la modification est nécessaire, et en supposant l'absence de valeur de récupération.
- 2) Comprend tous les branchements d'électricité et de plomberie.
- 3) En supposant un taux d'escompte de 10% et une longévité de 10 ans, le facteur de valeur actualisée serait 6,144.
- 4) Les besoins en énergie sont minimes.
- 5) Produits chimiques.
- 6) Doublures, électricité et ramassage.
- 7) Modèles électriques.
- 8) Ne comprend pas les visites du personnel qualifié et l'entretien.
- 9) Système fabriqué à domicile avec cabinet à recirculation.

I = Coût initial d'installation (modification d'une installation ou nouvelle installation)  
T<sub>s</sub> = Tarif des services d'eau et d'égout (tant par litre)  
T<sub>e</sub> = Tarif électricité (tant par kWh)  
U = Nombre d'utilisations par an  
R = Nombre de ramassages par an  
E = Valeur actualisée de l'entretien annuel  
VA = Valeur actualisée  
Op = Option

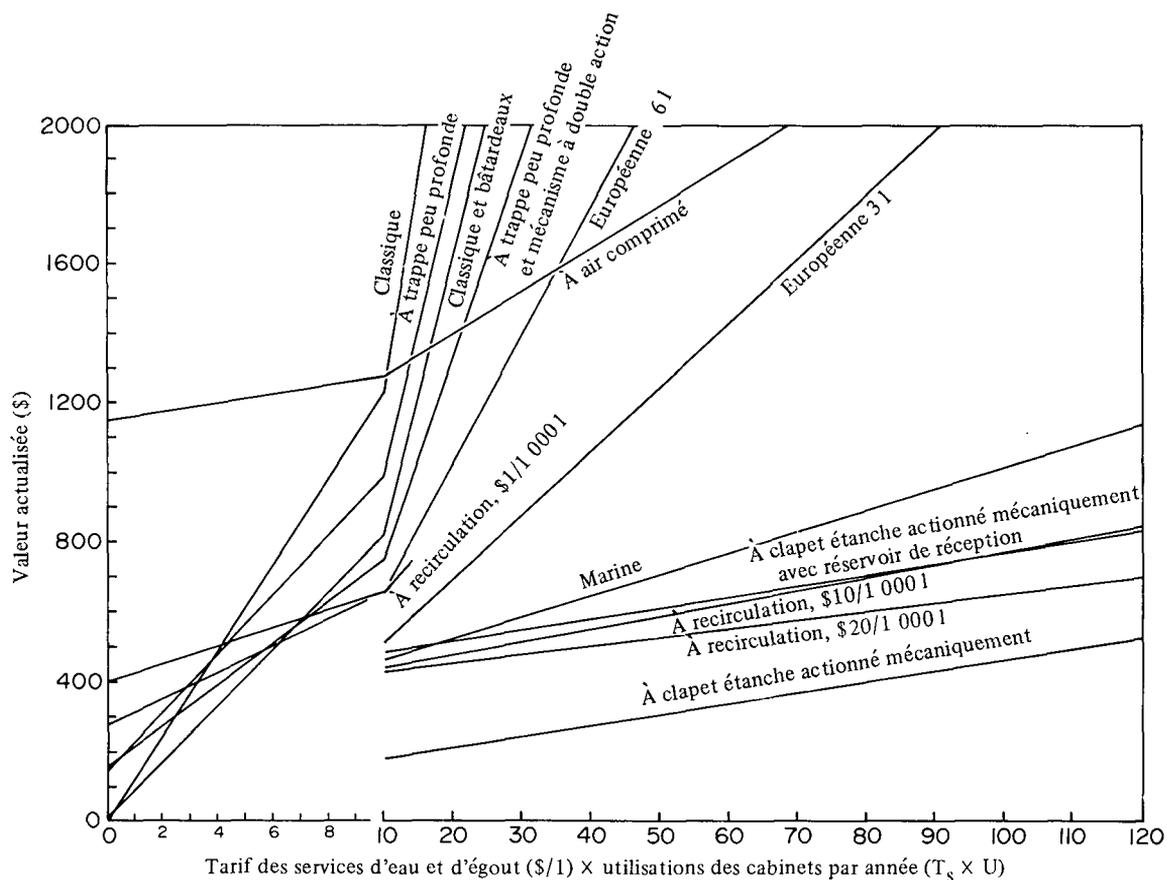


Figure 3 Valeur actualisée des divers types de cabinets dans les cas de modification

Dans le cas des systèmes de transport par camion, l'analyse de la situation montre que pour toutes les modifications possibles, les cabinets classiques ne sont pas économiques, et leur remplacement immédiat est à conseiller. Les cabinets à clapet étanche actionné mécaniquement constituent toujours la modification la moins coûteuse; toutefois, cette option exige que les toilettes se trouvent directement au-dessus d'un réservoir de réception, ce qui est inhabituel dans le cas d'une simple modification. Le cabinet avec réservoir de chasse le plus économique est le modèle européen de trois litres. Il coûte deux à trois fois plus cher que les systèmes à recirculation, mais beaucoup le considèrent comme le plus esthétique des modèles ayant une valeur actualisée relativement faible. Le petit cabinet à composte est avantageux uniquement si les tarifs électriques sont faibles (moins de \$0,05/kWh) et les tarifs d'eau et d'égout, très élevés. Pour les systèmes de transport par véhicule, les considérations économiques sont les mêmes, pour une nouvelle installation ou pour la modification d'une installation. Il est évident que, si l'installation est possible, les cabinets à clapet étanche actionné mécaniquement représentent l'option la moins coûteuse; dans le cas contraire, on devrait installer des toilettes à recirculation. Parmi les toilettes avec réservoir d'eau, l'option la plus économique est le modèle européen de trois litres, mais même celui-ci a une valeur actualisée qui est presque double de celle des toilettes à recirculation.

**Divers types de bains et douches.** — Suivant les habitudes de l'utilisateur, une douche demande généralement moins d'eau qu'un bain, surtout si on utilise un réducteur de débit peu coûteux ou une pomme de douche à faible débit. Plusieurs pommes de douche à débit réduit fournissent une douche satisfaisante, ou même supérieure, tout en économisant des quantités importantes d'eau et d'énergie. Il existe des appareils ou des systèmes de douche spéciaux qui utilisent très peu d'eau. Il y a aussi divers dispositifs que l'on peut installer pour économiser de l'eau et qui améliorent la commodité, le confort et la sécurité pour l'utilisateur.

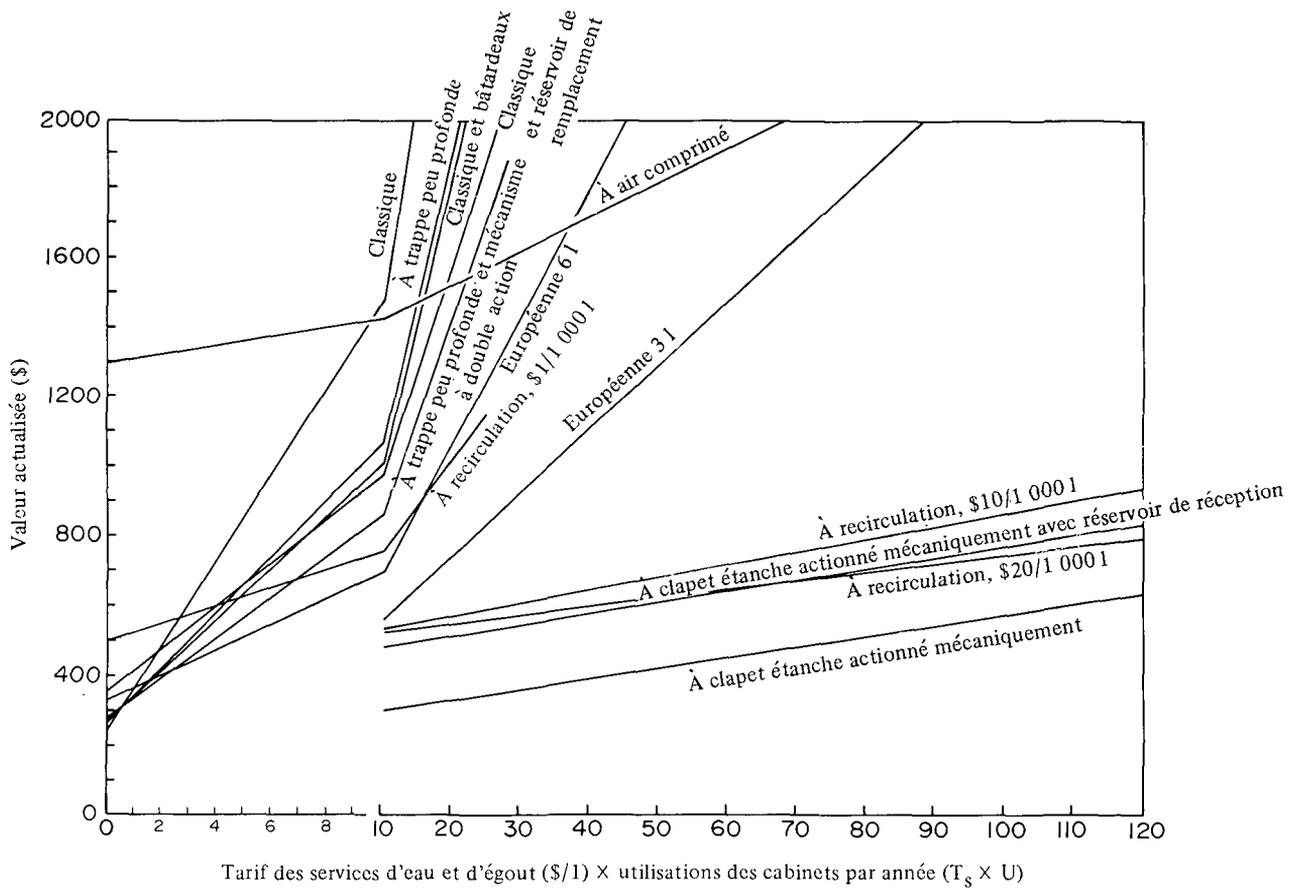


Figure 4 Valeur actualisée des divers types de cabinets dans les cas de nouvelle installation

D'après certaines données sur la consommation, une famille de quatre personnes reliée à un réseau d'ad-  
duction prend environ 630 bains ou douches par an, soit trois bains ou douches par semaine et par personne.  
Puisque la totalité de cette consommation ne correspond pas uniquement à des douches, et que la fréquence est  
très variable et même inconnue pour les maisons desservies par camions-citernes, il serait utile de savoir à partir  
de combien d'utilisations par an une option donnée devient rentable. Le tableau 8 présente le coût moyen par  
bain ou douche pour les diverses options et donne quatre cas de tarif unitaire. On suppose qu'une douche  
demande cinq minutes et que l'eau est chauffée de 35 °C à 40 °C. Les mêmes valeurs sont utilisées pour les  
pommes de douche à faible débit puisque rien ne permet d'affirmer qu'il y a une réduction importante de la  
consommation d'eau. Le coût du chauffage électrique de l'eau requise pour un bain a été obtenu de la manière  
suivante :

$$\text{Coût du bain} = \text{Eau consommée par bain} \\ [\text{coût de l'eau} + (0,041 \times \text{coût de l'électricité})].$$

Pour une période de 10 ans et un taux d'actualisation de 10 p. cent, le facteur de valeur actualisée (FVA),  
est de 6,144. La valeur actualisée de chaque option, pour un coût d'installation I et une utilisation annuelle U,  
est la suivante :

$$\text{Valeur actualisée} = I + (U \times \text{FVA} \times \text{coût du bain}).$$

D'après le tableau 8, on voit qu'un bain normal en baignoire, pour lequel il faut 150 l d'eau, utilise un peu plus d'eau qu'une douche classique (125 l) et beaucoup plus d'eau qu'une douche à faible débit (45 l). Même s'il est possible de réduire la consommation en utilisant des baignoires plus petites, isolées et mieux conçues, et en modifiant les habitudes des usagers, il est peu probable qu'on parvienne à ramener la consommation des bains en-dessous de celle des douches à faible débit. Le bain en baignoire, généralement moins économique, est un luxe coûteux dans les régions où le coût de l'eau et de l'énergie est élevé.

Dans tous les cas, il est rentable de modifier une pomme de douche en y adaptant un réducteur de débit ou en installant une pomme de douche à faible débit. Pour des tarifs minimaux de \$0,10/1 000 l et de \$0,05/kWh appliqués aux réseaux de canalisations, l'installation d'une pomme de douche à faible débit permet d'économiser \$0,17 par utilisation, si on la compare à une pomme de douche classique. Si l'investissement est de \$18, l'utilisateur rentre dans ses frais après 105 utilisations, soit 17 utilisations par an. À 500 utilisations par an, la valeur actualisée de l'économie réalisée est de \$500. Pour des tarifs d'électricité plus élevés et dans le cas des systèmes de transport par véhicule, les économies sont encore plus importantes. Par exemple, aux tarifs minimaux de

Tableau 8 Coût moyen par bain

	Réseau d'adduction		Transport par véhicule	
	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3	Hypothèse 4
Coût unitaire de l'eau	\$0,10/1 000 l	\$1/1 000 l	\$10/1 000 l	\$20/1 000 l
Coût unitaire de l'électricité	\$0,05/kWh	\$0,20/kWh	\$0,05/kWh	\$0,20/kWh
Options	\$	\$	\$	\$
Baignoire – 150 l				
eau	0,015	0,150	1,500	3,000
chauffage	0,300	1,230	0,300	1,230
coût total	0,315	1,380	1,800	4,230
Douche classique – 125 l				
eau	0,013	0,125	1,250	2,500
chauffage	0,256	1,025	0,256	1,025
coût total	0,269	1,150	1,506	3,525
Douche à faible débit – 45 l				
eau	0,005	0,045	0,450	0,900
chauffage	0,092	0,369	0,092	0,369
coût total	0,097	0,414	0,542	1,269
Douche à pulsion d'air – 10 l				
eau	0,001	0,010	0,100	0,200
chauffage	0,021	0,082	0,021	0,082
coût total	0,022	0,092	0,121	0,282
Douche-téléphone – 10 l				
eau	0,001	0,010	0,100	0,200
chauffage	0,021	0,082	0,021	0,082
coût total	0,022	0,092	0,121	0,282

\$10/1 000 l et de \$0,05/kWh, on économise \$0,96 par douche de cinq minutes. Par conséquent, la modification d'une pomme de douche à faible débit est rentable après seulement 20 utilisations, et la valeur actualisée de l'économie réalisée est de \$1 460 pour 250 utilisations par an. Le coût de la pomme de douche n'est pas important : la satisfaction de l'utilisateur est donc le critère de sélection le plus important.

Le coût d'un robinet "marche-arrêt" s'amortit rapidement, à condition qu'on en fasse bon usage. L'acquisition d'un tel dispositif est généralement avantageuse tant pour les réseaux de canalisations que pour les systèmes de transport par camion. Une douche-téléphone combinée avec une pomme de douche à faible débit constitue un dispositif commode et économique. Il en est de même pour les robinets mélangeurs à thermostat et pour les robinets mélangeurs équilibreurs de pression, qui ne sont pas toujours rentables en eux-mêmes.

La douche à pulsion d'air est beaucoup plus coûteuse que la douche-téléphone. Ceci est particulièrement vrai dans le cas d'une modification apportée à une installation, et ce système pourra être impraticable dans certains bâtiments. Il nécessite une cabine de douche, un robinet mélangeur à thermostat et un chauffe-eau en série. Si on pouvait l'installer pour \$700, il serait plus économique qu'une tête de douche à débit réduit – à condition que le nombre d'utilisations par an soit supérieur à 230 dans le cas des tarifs minimaux de camions-citernes (\$10/1 000 l et \$0,05/kWh) et supérieur à 100 dans le cas des tarifs maximaux de camions-citernes (\$20/1 000 l et \$0,20/kWh). Un tel système serait trop coûteux, ou du moins peu attrayant, pour la plupart des foyers.

Une douche-téléphone combinée avec un robinet "marche-arrêt" permet de se laver avec 10 l par douche, ce qui équivaut à cinq minutes passés sous une douche à pulsion d'air. Dans un tel cas, il faut une cabine de douche, un robinet mélangeur à thermostat et un chauffe-eau en série. À raison de 250 utilisations par an, la valeur actualisée des avantages d'un tel système par rapport à une douche à faible débit est de \$950 et de \$1 600 pour les tarifs minimaux et maximaux de camions-citernes. Le coût en capital de ce système peut varier, mais il est moins cher et plus facile à installer qu'une douche à pulsion d'air, et donc plus intéressant du point de vue économique. On peut l'installer seul ou combiné à une pomme de douche à faible débit, là où l'eau est très chère ou disponible en quantité limitée. Cependant, l'adoption de la douche-téléphone implique un changement important dans la manière de se laver, ce qui peut constituer un inconvénient pour beaucoup de gens. Une enquête menée par Schatzberg (1975) a démontré qu'il est relativement aisé de s'adapter à ce système de douche.

**Divers types de buanderies.** – Le lavage manuel est la méthode qui consomme le moins d'eau, mais elle demande beaucoup de temps et d'efforts. Les laveuses-essoreuses, à usages multiples, permettent de réutiliser l'eau facilement, mais elles ont été largement supplantées par les machines à laver automatiques qui sont plus commodes. Il existe plusieurs modèles de laveuses automatiques se chargeant par le haut, et certaines consomment beaucoup moins d'eau que d'autres. Les laveuses automatiques à chargement par l'avant ayant un effet de culbutage plus efficace consomment moins d'eau que toutes autres laveuses automatiques. Toutefois, elles sont plus coûteuses et ne sont pas encore très bien acceptées par le public.

Le tableau 9 présente les coûts initiaux et les coûts d'exploitation, ainsi qu'une analyse économique des laveuses automatiques pour les cas de modifications d'une installation ou d'installations nouvelles. Ce tableau fournit des équations de valeur actualisée pour chaque option, en fonction des tarifs d'eau et d'électricité. Afin d'exposer les considérations économiques liées aux modifications et aux nouvelles installations, la valeur actualisée de chaque option est donnée pour deux tarifs d'eau par canalisation et deux tarifs d'eau par camion-citerne, et pour 251 et 106 lessives par an. Ces chiffres s'appuient sur le nombre de lessives par an prévu pour une famille de quatre personnes, desservie par un réseau de canalisations ou par camions-citernes, lorsque 14,6 p. cent de la consommation totale d'eau est consacrée à la lessive, faite avec une laveuse automatique à chargement par le haut.

Dans le cas d'une modification en présence d'un réseau de canalisations, il est rentable de remplacer une laveuse se chargeant par le haut par une autre se chargeant par l'avant, uniquement si l'utilisation est très fréquente et si les tarifs d'eau et d'électricité sont très élevés. Par exemple, pour les tarifs de réseaux de canalisations établis à \$0,10/1 000 l et \$0,05/kWh, le seuil de rentabilité se trouve à 610 utilisations par an. Aux tarifs plus élevés de \$1/1 000 l et \$0,10/kWh, ce seuil est ramené à 270 utilisations par an. Par contre, dans le cas d'une nouvelle installation (ou quand la machine à laver existante doit être remplacée), le choix d'une laveuse se chargeant par l'avant est le plus souvent avantageux pour les usagers desservis par des réseaux de canalisations. Aux tarifs minimaux, le seuil de rentabilité se situe à 120 utilisations par an; aux tarifs maximaux, ce seuil est atteint après seulement 50 utilisations par an.

Tableau 9 Coût initial, coût d'exploitation et analyse économique des divers types de buanderies

Options		Coûts initiaux		Total en eau (l/util.)	Exigences d'exploitation  Autres <sup>(3)</sup>	Équations de valeur actualisée <sup>(3,4)</sup>	Valeur actualisée et ordre des options <sup>(3,4)</sup>				
Code	Désignation	En capital (\$)	Installation (I)				Réseaux de canalisations	Transport par véhicule			
			Modification (\$)					Nouvelle installation (\$)	T <sub>s</sub> = \$0,10/1 000 l	\$1/1 000 l	\$10/1 000 l
						T <sub>e</sub> = \$0,05/kWh	\$0,20/kWh	\$0,05/kWh	\$0,20/kWh		
						Ordre Op. VA(\$)	Op. (VA(\$))	Op. VA(\$)	Op. VA(\$)		
1	Laveuse automatique se chargeant par le haut	550	0 <sup>(1)</sup>	700	190,8	Eau chaude <sup>(5)</sup> = 63,2 l Chauffage <sup>(6)</sup> = 3,67 kWh Électricité <sup>(7)</sup> = 0,23 kWh Détersif = 300 ml Agent de blanchiment = 225 ml	$I + FVA(0,19T_s + 3,90T_e + 0,20)U$	MODIFI-CATION			
								U = 251 <sup>(8)</sup>	1 <sup>er</sup> 1 640 3 1 700 3 2 915 3 5 195 2 <sup>e</sup> 3 1 095 1 1 805 2 3 350 2 6 080 3 <sup>e</sup> 2 1 225 2 2 005 1 3 550 1 7 395		
2	Laveuse se chargeant par le haut à faible consommation d'eau	625	700	775	139,1	Eau chaude = 39,8 l Chauffage = 2,31 kWh Électricité = 0,23 kWh Détersif = 300 ml Agent de blanchiment = 225 ml	$I + FVA(0,14T_s + 2,54T_e + 0,20)U$	U = 106 <sup>(9)</sup>	1 <sup>er</sup> 1 270 1 765 1 1 500 3 2 640 2 <sup>e</sup> 3 910 3 1 165 3 1 680 2 2 975 3 <sup>e</sup> 2 920 2 1 250 2 1 820 1 3 125		
3	Laveuse automatique se chargeant par l'avant	700	775	850	119,2	Eau chaude = 29,8 l Chauffage = 1,73 kWh Électricité = 0,18 kWh Détersif = 150 ml Agent de blanchiment = 113 ml	$I + FVA(0,12T_s + 1,91T_e + 0,10)U$	NOUVELLE INSTALL.			
								U = 251	1 <sup>er</sup> 3 1 170 3 1 775 3 2 990 3 5 270 2 <sup>e</sup> 2 1 330 2 2 080 2 3 425 2 6 155 3 <sup>e</sup> 1 1 340 1 2 505 1 4 250 1 8 095		
								U = 106	1 <sup>er</sup> 1 970 3 1 240 3 1 755 3 2 715 2 <sup>e</sup> 3 985 2 1 325 2 1 895 2 3 050 3 <sup>e</sup> 2 995 1 1 465 1 2 200 1 3 825		

- 1) En supposant qu'une laveuse se chargeant par le haut est déjà installée et doit donc être enlevée, le cas échéant, et en supposant qu'il n'y a pas de valeur de récupération.  
 2) Comprend tous les branchements d'électricité et de plomberie.  
 3) Ne comprend pas les frais d'entretien, que l'on suppose égaux pour toutes les laveuses automatiques.  
 4) En supposant un taux d'escompte de 10% et une longévité de 10 ans, le facteur de valeur actualisée est de 6,144.  
 5) En supposant que l'eau est chauffée à l'électricité.  
 6) Nécessaire au fonctionnement de la laveuse.  
 7) Si un ménage type de 4 personnes desservi par canalisations consomme 225 l/d par pers. X 4 = 900 l/d, dont 14,6 % pour la lessive, il traitera environ 251 lessives par an.  
 8) Si un ménage type de 4 personnes desservi uniquement par camions-citernes consomme 95 l/d par pers. X 4 = 380 l/d, dont 14,6% pour la lessive, il traitera environ 106 lessives par an.

- I = Coût initial d'installation (modification d'une installation ou nouvelle installation)  
 T<sub>s</sub> = Tarif des services d'eau et d'égout (tant pour 1 000 l)  
 T<sub>e</sub> = Tarif électricité  
 U = Nombre d'utilisations par an  
 FVA = Facteur de valeur actualisée  
 VA = Valeur actualisée  
 Op. = Option

Dans le cas d'une modification en présence d'un système de transport par véhicule, il est généralement intéressant de remplacer une laveuse se chargeant par le haut par un modèle se chargeant par l'avant. Par exemple, aux tarifs minimaux de \$10/1 000 l et \$0,05/kWh, le seuil de rentabilité se situe à 140 utilisations par an, aux tarifs maximaux de \$20/1 000 l et \$0,20/kWh, la rentabilité est assurée à partir de 65 utilisations par an. Les immeubles résidentiels et les grandes maisonnées peuvent tirer un avantage sensible d'une modification, mais les petites familles et les couples sans enfant ne réalisent généralement qu'une économie marginale, à moins que la machine existante n'ait une certaine valeur de reprise. Dans le cas d'une nouvelle installation, il est pratiquement toujours plus rentable de choisir une laveuse se chargeant par l'avant. Le seuil de rentabilité se situe alors à 25 et 15 utilisations par an, pour les tarifs minimaux et maximaux des systèmes de transport par véhicule.

**Vaisselle, boisson, cuisine.** — De ces trois types d'utilisations, c'est la vaisselle qui demande le plus d'eau. Laver la vaisselle à main exige très peu d'eau, mais demande certains efforts. Si on utilise un lave-vaisselle automatique en le remplissant toujours à pleine capacité pour chaque cycle entier de fonctionnement, la consommation d'eau est comparable à celle du lavage manuel dans un évier plein, avec rinçage sous un jet continu. Un broyeur de déchets alimentaires incorporé à l'évier est un dispositif moderne qui, s'il est bien utilisé, n'augmente pas sensiblement la consommation d'eau dans la maison. Les autres types d'utilisations à la cuisine (eau pour la boisson, eau pour cuisiner), exigent des volumes d'eau relativement minimes et constants. On peut réduire le gaspillage en modifiant ses habitudes; par exemple, en conservant un récipient d'eau fraîche au réfrigérateur, on évite de faire couler l'eau inutilement.

**Divers accessoires pour économiser l'eau.** — Il existe des robinets et des accessoires pour robinets qui réduisent le débit et le gaspillage d'eau, si on les compare aux dispositifs classiques. Une réduction du débit signifie également une économie d'énergie, puisque 50 à 75 p. cent du débit est constitué d'eau chaude (Nelson, 1977). Les robinets mélangeurs, avec une seule poignée de commande qui règle à la fois le débit et la température de l'eau, réduisent le gaspillage. Les robinets à jet diffusé nécessitent seulement 10 p. cent environ des quantités d'eau consommées par les robinets classiques. Leur faible débit diminue considérablement la consommation d'eau en cas d'écoulement continu, mais ils prennent longtemps pour remplir un récipient ou une baignoire. Les robinets à fermeture automatique et les robinets à commande au pied ou au genou réduisent le gaspillage, puisqu'il faut la présence d'une personne pour les faire fonctionner; cependant, ils ne sont pas commodes pour l'usage ménager. Les robinets mélangeurs à thermostat permettent de contrôler les variations de température et de pression.

Lorsque le débit d'eau des robinets est supérieur à ce qu'il devrait être, on peut utiliser des réducteurs de débit, qui contrôlent le débit d'eau au moyen d'un opercule de petit calibre inséré ou intercalé à joints filetés dans la conduite en amont des appareils ou au bec des robinets. La plupart compensent les variations de pression dans la conduite et fournissent un débit constant. (Voir la figure 5.)

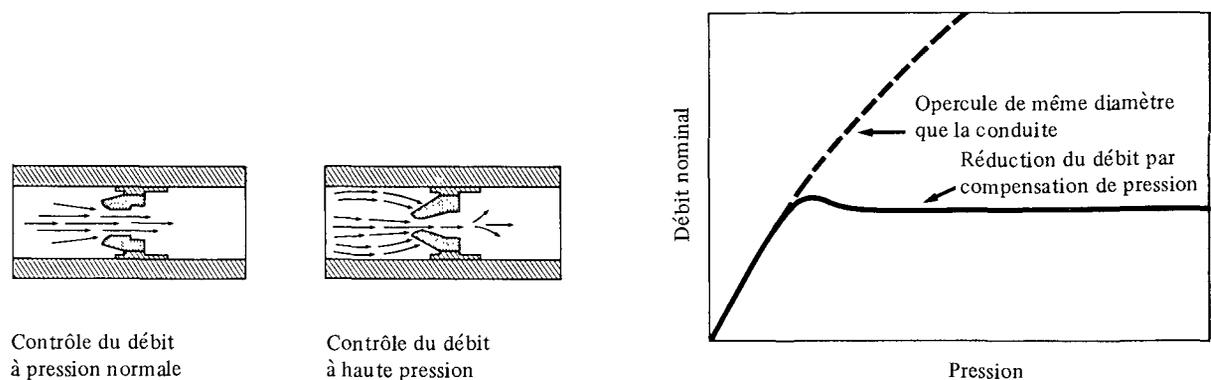


Figure 5 Fonctionnement et caractéristiques de débit des réducteurs de débit par compensation de pression

On peut également contrôler le débit au moyen d'aérateurs qui réduisent la quantité d'eau qui passe par le robinet. Les aérateurs sont faciles à fixer au bec d'un robinet; ils donnent l'impression d'un débit plus important qu'en réalité parce qu'ils divisent le jet et y introduisent des bulles d'air. Certains aérateurs ont un réducteur de débit incorporé. Ces dispositifs sont avantageux à cause de leur coût modique, des économies d'eau et d'énergie qu'ils permettent de réaliser, et de leur commodité.

On utilise les régulateurs de pression lorsqu'une pression trop élevée dans la conduite principale risque de faire sauter les joints, ou de causer des bruits excessifs, des vibrations et des fuites. En réduisant le débit dans la conduite d'amenée, on réduit également la consommation d'eau par les appareils sanitaires ou en cas d'écoulement libre (douches par exemple.) Toutefois, la réduction de pression et de débit augmente le temps nécessaire pour obtenir un volume d'eau donné. Lorsque la pression d'eau est excessive, les régulateurs de pressions sont commodes et rentables.

L'isolation des conduites d'eau chaude réduit les pertes de chaleur et contribue à maintenir constante la température de l'eau dans les conduites. Il y a, par conséquent, moins de gaspillage d'eau qui reste immobilisée dans les tuyaux. Nelson (1977) estime à environ 7,5 l/d par pers. (soit environ 3 p. cent de la consommation totale d'eau chaude), l'économie ainsi obtenue. Bien que le coût de l'isolation thermique puisse varier, elle est rentable pour la plupart des maisons desservies par camions-citernes, et généralement souhaitable pour les maisons reliées aux réseaux de canalisations.

La circulation d'eau élimine le gaspillage inévitable d'eau refroidie par stagnation dans la conduite entre le réservoir d'eau chaude et le robinet avant que l'eau n'arrive chaude. Les conduites d'eau dans l'immeuble ou dans une zone particulière sont bouclées par un retour au réservoir d'eau chaude, et une petite pompe fait circuler l'eau dans la boucle. Il existe également une variante qui peut être utilisée dans les immeubles qui ont une alimentation en eau indépendante, et qui n'exige pas de pompe de circulation. On n'a besoin que d'une conduite de retour de chaque robinet au réservoir et d'un robinet de vidange. Lorsque l'eau chaude arrive au robinet, le robinet de vidange est fermé et l'eau chaude peut sortir par le robinet. Avec le système de circulation d'eau ou celui de la conduite de retour, on peut économiser au moins autant d'eau qu'en isolant les conduites d'eau chaude, soit 3 p. cent de la consommation totale. Les avantages économiques sont du même ordre. Cependant, les deux systèmes ne sont rentables que pour les immeubles desservis par camions-citernes. La conduite de retour étant plus simple, elle semble constituer le meilleur choix. Toutefois, il se peut qu'un certain effort de mise au point soit nécessaire pour rendre cette méthode commode et acceptable pour les usagers.

**Recyclage des eaux usées.** – La réutilisation de l'eau peut réduire la demande de façon appréciable. Certains systèmes de recyclage permettent pratiquement d'éliminer le besoin d'un système de distribution d'eau et de collecte des eaux usées. Dans certains cas, c'est l'autonomie qui est recherchée; d'autres considèrent les avantages économiques d'une réduction des besoins d'eau et d'énergie. Le potentiel de pollution et d'insalubrité présenté par les effluents demeure le même pour les bâtiments équipés de systèmes de recyclage, à moins que ceux-ci ne comportent des dispositifs de traitement et d'élimination des boues. Dans un tel cas on pourra réduire, ou pratiquement éliminer, la pollution du milieu immédiat. Les systèmes de recyclage sont attrayants, mais leur coût élevé, leur technique compliquée et le fait que beaucoup trouvent le système esthétiquement inacceptable expliquent qu'en général l'application est limitée à des projets pilotes ou à certains projets militaires ou relatifs aux voyages spatiaux.

Les systèmes de recyclage sont largement dépendants du type d'eaux usées traitées ainsi que de l'usage auquel on les destine. Afin de réduire le traitement, on peut parfois établir une gamme d'utilisations nécessitant une qualité d'eau de plus en plus basse. (On peut utiliser l'eau de lessive pour les chasses d'eau, par exemple.) Dans de nombreux cas, pourtant, les systèmes à traitement multiple ne sont pas commodes, et les systèmes à traitement unique doivent fournir une eau dont la qualité répond aux exigences les plus strictes.

À moins qu'une autonomie complète ou une pollution "nulle" ne soient visées, le recyclage limité ou sélectif semble plus commode et plus intéressant. Smith (1973) a comparé le recyclage des eaux usées aux techniques de conservation de l'eau, du point de vue économique. Il affirme que : "Modifier l'équipement ou les habitudes peut éliminer le besoin du recyclage de l'eau, sauf en ce qui concerne le recyclage de l'eau destinée à certains usages déterminés, ce qui semble être la méthode la plus économique". Malheureusement, peu d'auteurs se sont penchés sur la conservation de l'eau, comparée ou combinée avec la réutilisation, en vue de réduire le coût en capital et les frais d'exploitation. L'application la plus fréquemment proposée est le recyclage des eaux usées pour les chasses de cabinets. Or, il existe plusieurs cabinets à faible consommation d'eau qui, avec une

technologie plus simple, permettent une réduction presque aussi importante de la consommation. Les faibles besoins en eau des toilettes à consommation réduite rendent le recyclage peu rentable, à moins de choisir un type particulier de toilettes et de concevoir un système de recyclage permettant d'éliminer le traitement avant la réutilisation. Il existe des cabinets qui ne consomment pas d'eau ainsi que des cabinets (incinérateurs ou à compost, par exemple), qui produisent un résidu sec et stable. Autre exemple de conservation versus réutilisation : une douche-téléphone ou une douche avec pulsion d'air peuvent réduire de plus de 90 p. cent la consommation d'eau pour le bain, comparativement à une douche classique; ces techniques de conservation de l'eau sont peut-être plus acceptables pour le public, et sont certainement moins complexes que le recyclage.

La lessive est la seule autre utilisation commode des eaux grises traitées. Les laveuses automatiques se chargeant par l'avant consomment environ 40 p. cent moins d'eau que les laveuses automatiques au chargement par le haut. Si les mesures de conservation énoncées ci-dessus étaient appliquées, c'est à la lessive que serait consacrée la plus grande partie de l'eau utilisée dans les maisons. Certains auteurs ont proposé qu'on ait recours aux ultra-sons pour réduire la demande d'eau destinée à la lessive. En l'absence de cette technique, il semble que la lessive soit l'opportunité la plus commode et la plus économique pour un tel système.

**Services aux collectivités.** — La demande d'eau dépend autant du type et de la conception des services publics que de la tuyauterie des bâtiments. Il est possible de réduire la demande d'eau et les quantités d'eaux usées dans les réseaux de canalisation par diverses mesures d'économie, mais la baisse dépend grandement des caractéristiques du système en place. Entre autres méthodes, on peut réduire la consommation d'eau en maintenant la pression dans les conduites d'amenée à un niveau minimal, puisqu'une pression élevée entraîne un gaspillage d'eau (robinets non équipés de dispositifs de contrôle du débit, utilisation d'eau à l'extérieur pour l'arrosage du gazon, fuites). Une autre méthode consiste à réduire le débit dans la canalisation maîtresse de chaque bâtiment, en installant un dispositif peu coûteux qui régularise le débit. Aux États-Unis, l'Environmental Protection Agency (1974) a montré combien il importait de réduire les quantités d'eaux usées en éliminant ou en contrôlant les infiltrations. Cette approche est surtout importante pour les anciens réseaux, où peuvent se produire des ruptures au niveau des canalisations d'évacuation, et pour les systèmes sans joints ou accessoires étanches. Les réseaux d'égouts sous pression ou les réseaux sous vide n'exigent pas les grands volumes d'eau que nécessitent les réseaux gravitaires, et dans les deux premiers cas, on peut réduire sensiblement la consommation d'eau de chasse.

Comme version des services publics classiques pour les petites collectivités non rattachées, le projet "Alaska Village Demonstration" proposait une installation centrale avec buanderie et douches, ainsi qu'une réserve sûre d'eau potable et un système de gestion des eaux usées (Reid, 1977). La consommation d'eau dans les habitations n'était que de 5,5 l/d par pers., mais on a observé des progrès hygiéniques importants. À l'installation centrale, en recyclant les eaux grises pour la buanderie et en installant des cabinets à faible consommation d'eau, on a réussi à ramener la consommation à 17 l/d par pers. Une installation centrale, avec ou sans système de recyclage, assure les services essentiels tout en permettant d'introduire facilement diverses techniques de conservation de l'eau. Lorsque les sources d'eau sont limitées et que l'approvisionnement pour l'hiver doit être entièrement stocké, ou lorsque le coût unitaire des services d'eau et d'égout est élevé, on devrait considérer la possibilité d'une installation centrale afin de réduire la demande et le coût des services pour la collectivité. Dans certains cas, l'installation d'un système central peut être imposée par les possibilités de conservation et de réutilisation.

## RÉSUMÉ ET RECOMMANDATIONS

Divers facteurs influent sur la demande d'eau. Les plus importants pour les collectivités du Nord sont d'une part le type de services publics et, d'autre part, la plomberie et les appareils consommateurs d'eau dans les maisons. L'amélioration des niveaux de service et de salubrité demeure un objectif premier dans bon nombre de collectivités du Nord. On peut contribuer à la réalisation de cet objectif en augmentant l'apport en eau, mais il importe que les consommateurs en fassent un usage rationnel. Les subventions, souvent si importantes dans le Nord, peuvent déformer la demande et créer des problèmes de rentabilité. Pour minimiser le coût des services publics, les subventions directes ou indirectes ne devraient être appliquées qu'aux quantités d'eau utilisées pour réaliser les objectifs fixés; une demande qui excède cette limite devrait être facturée suivant le coût réel du service. La tarification et le prix marginal devraient refléter le coût à long terme du système de services publics, même si les subventions, les exigences administratives et les difficultés techniques entraînent des compromis sur le plan de la rentabilité économique.

Il est possible de réduire radicalement la consommation d'eau en sensibilisant les usagers, et les entreprises ou les agences de services publics qui visent ce but devraient mettre sur pied une campagne d'information publique. La connaissance de quelques techniques simples de conservation de l'eau et une prise de conscience des avantages qui en découlent peuvent provoquer une réduction de la demande totale d'eau, réduire le gaspillage et assurer une utilisation plus rationnelle de l'eau. On devrait formuler des codes de plomberie qui reconnaissent l'importance de la conservation de l'eau, pour que les organismes gouvernementaux et municipaux intéressés, ou les concepteurs de bâtiments et de services publics, puissent appliquer les techniques existantes.

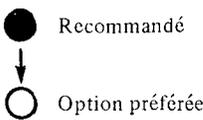
L'évaluation du point de vue économique des diverses techniques de conservation de l'eau s'appuie sur la baisse enregistrée au niveau de la consommation de l'eau et de la dépense d'énergie pour le chauffage de l'eau. En général, il s'agit de choisir, parmi les diverses possibilités, l'option dont le rapport coût/bénéfice est le plus intéressant. Afin d'utiliser la manière dont se fait le choix de la technique la plus économique et de montrer certaines constantes dans les résultats, on a examiné le cas d'un ménage de quatre personnes. On a adopté au départ un certain nombre d'hypothèses raisonnables (si les conditions d'un cas réel donné diffèrent trop de celles de l'étude, il faudra refaire le travail. En supposant des tarifs d'eau, d'égout et d'énergie qui correspondent à la gamme des coûts marginaux prévus, on a étudié le rapport coût/bénéfice, tant pour les modifications que pour les nouvelles installations. Les résultats de cette analyse sont exposés ci-dessous et ils sont repris schématiquement au tableau 10. Certaines techniques de conservation de l'eau sont à recommander de façon générale; d'autres nécessitent une évaluation approfondie, vu les variations de coût et les avantages incertains qu'elles présentent. La réduction de la consommation est calculée en fonction de la consommation "normale" d'une famille de quatre personnes, dans une maison équipée de toute la plomberie classique et des appareils sanitaires usuels (225 l/d par pers. pour les maisons reliées à un réseau d'adduction et 95 l/d par pers. pour les maisons desservies par camions-citernes). Les catégories d'utilisation de l'eau qui apparaissent à la figure 1 sont posées à titre d'hypothèses.

**Réseaux de canalisations.** — L'analyse économique des cas de modifications apportées à des installations indique qu'on devrait modifier les cabinets classiques en leur adjoignant un mécanisme à double action ou des bâtardeaux, afin de réduire le volume d'eau consommé par chasse. Une pomme de douche à faible débit devrait être installée pour économiser de l'énergie; une douche-téléphone pourrait compléter ce système de douche. Tous les robinets devraient être équipés d'un aérateur qui se fixe au bec du robinet. Quand la pression dans les conduites principales est excessive, on devrait installer un réducteur de pression. En outre, les tuyaux d'eau chaude à nu devraient être isolés partout où cela est possible. Ces modifications de cabinets et douches devraient coûter moins de \$25, être réalisées facilement par les propriétaires et réduire la consommation totale d'eau pour l'usage domestique de 28 à 38 p. cent. La limite supérieure serait atteinte si les usagers prenaient exclusivement des douches et non plus de bains.

Pour les bâtiments neufs, ou lors du remplacement d'un appareil existant, il est conseillé d'installer des cabinets ne consommant pas plus de 15 l d'eau par utilisation. Si les tarifs d'eau sont bas, les cabinets classiques combinés avec l'une des modifications simples constituent encore le meilleur choix; si les tarifs sont élevés, le modèle européen de 6 l représente l'option la plus intéressante sur le plan financier. Pour la douche, il est économique d'installer une pomme à faible débit et de compléter le système avec un robinet "marche-arrêt" et une douche-téléphone. Les aérateurs équipés de réducteurs de débit sont toujours à conseiller; les robinets mélangeurs sont avantageux (s'ils ne sont pas trop chers), car ils sont commodes et consomment moins d'eau que les robinets classiques. L'isolation des conduites d'eau chaude, qui ajoute encore à la commodité, est généralement économique pour un nouveau bâtiment. Si la pression dans les conduites principales est trop forte, on conseille d'utiliser un réducteur de pression. Selon le choix du système de cabinets, le coût en capital de ces modifications est d'environ \$25 à \$115, en sus du coût des appareils sanitaires. La réduction de la consommation domestique s'établit entre 31 et 55 p. cent. Les économies les plus intéressantes se rapportent aux toilettes européennes de 6 l et à l'utilisation exclusive de la douche.

**Camions-citernes.** — Compte tenu du coût unitaire élevé de l'eau distribuée par camions-citernes, la stratégie esquissée au tableau 10 pour la modification d'une installation recommande le remplacement des cabinets classiques par des appareils n'exigeant que 3 l au maximum par chasse. S'il n'est pas possible d'installer des cabinets à clapet étanche actionné mécaniquement, les cabinets à recirculation présentent un rapport coût/bénéfice comparable et peuvent être adoptés. Les seuls cabinets à réservoir de chasse qui soient avantageux sont les toilettes européennes de 3 l. Le bain en baignoire coûte plus cher que la douche. La pomme de douche à faible

Tableau 10 Techniques de conservation de l'eau recommandées pour les habitations



	Réseau d'adduction		Camions-citernes	
	Modification d'une installation	Installation nouvelle	Modification d'une installation	Nouvelle installation
<b>Cabinets</b>				
Mécanisme à double action ou batardeaux	●			
15 l ou moins par chasse		●		
3 l ou moins par chasse			●	●
<b>Bains et douches</b>				
Pomme de douche à faible débit	●	●	●	●
Douche-téléphone	○	○	○	◐
Robinetts mélangeurs à thermostat				◐
<b>Lessive</b>				
Laveurs automatiques se chargeant par l'avant		○	◐	●
<b>Autres</b>				
Aérateurs équipés d'un réducteur de débit	●	●	●	●
Robinetts mélangeurs		◐	○	●
Robinetts mélangeurs à thermostat				○
Régulateur de pression	○	○		
Isolation des conduites d'eau chaude	○	●	○	●
Circulation d'eau ou conduite de retour				◐
<b>Économie réalisée par rapport aux systèmes classiques<sup>1</sup></b>				
Eau (%)	28-38	31-55	50-67	60-74
Eau (l/d/pers.)	63-84	70-124	47-63	57-70
Énergie <sup>2</sup> (kWh/d/pers.)	1,34-2,03	1,56-2,26	0,56-1,69	0,86-1,16

<sup>1</sup> Gamme de valeurs en fonction des techniques ou des dispositifs employés ainsi que des habitudes des usagers.

<sup>2</sup> Pour le chauffage de l'eau domestique.

débit, très économique, est toujours à conseiller. La douche-téléphone et les robinets “marche-arrêt” sont également à conseiller. Pour ce qui est de la lessive, il est rentable de choisir une laveuse automatique se chargeant par l’avant si les tarifs sont élevés ou si on doit s’en servir fréquemment. Les robinets mélangeurs constituent un bon choix mais on devrait tout de même leur adjoindre des aérateurs équipés de réducteurs de débit. Les conduites d’eau chaude devraient être isolées partout où cela est commode. Le coût de ces modifications varie selon les options. Pour tous ces dispositifs et appareils (y compris la laveuse se chargeant par l’avant), le coût en capital serait de \$1 000 et la réduction de la consommation totale d’eau varierait de 55 à 67 p. cent. Si on ne devait pas remplacer la machine à laver, le coût en capital serait d’environ \$300, et la réduction de la consommation se situerait entre 50 et 55 p. cent.

Pour les installations neuves, on peut justifier des changements encore plus radicaux par rapport aux appareils classiques. Les cabinets ne devraient pas consommer plus de 3 l par chasse, les options étant, dans l’ordre croissant du rendement économique, le modèle européen de 3 l, le cabinet à recirculation et le cabinet à clapet étanche actionné mécaniquement. Pour la douche, il faudrait utiliser une douche-téléphone avec réducteur de débit et robinet “marche-arrêt” incorporés; les robinets mélangeurs à thermostat sont commodes et ils permettent de réduire le gaspillage. Au chapitre de la lessive, une laveuse se chargeant par l’avant est une option très intéressante, surtout quand on fait de nombreux lavages par semaine. On devrait installer des robinets mélangeurs combinés à des aérateurs équipés de réducteurs de débit. Les conduites d’eau chaude devraient être isolées; le plus souvent, un système de circulation d’eau ou une conduite de retour seraient rentables et commodes pour l’usager. Quant à l’investissement supplémentaire, par rapport à un système de plomberie classique, il serait d’environ \$325 à \$525. Pour une fréquence d’utilisation égale et sans que les habitudes des usagers soient modifiées, l’installation de ces dispositifs permettrait une réduction de 60 à 74 p. cent de la consommation d’eau distribuée par camions-citernes, celle-ci étant ramenée entre 38 et 25 l/d par personne.

Dans l’analyse précédente, on a supposé que la répartition entre les différents usages qu’on fait de l’eau était la même pour les maisons desservies par camions-citernes ou par canalisations. Pourtant, la consommation globale est en général nettement inférieure quand l’eau est distribuée par véhicule. En outre, on a appliqué le même taux de réduction de la consommation aux systèmes de transport par véhicule et aux réseaux de canalisations. Une estimation plus conservatrice des avantages liés aux techniques de conservation de l’eau doit établir les fréquences d’utilisation des appareils à partir des données concernant les habitations desservies par réseaux de canalisations. Dans un tel cas, chaque personne, chaque jour, voit sa fréquence d’utilisation des appareils sanitaires répartie comme suit : 4,5 chasses de cabinets, 0,43 bain et 0,17 lessive. En installant un cabinet à recirculation (0,2 l/chasse), une pomme de douche à faible débit (45 l/douche), une laveuse automatique se chargeant par l’avant (119 l/lessive), et divers autres dispositifs, on obtiendrait une consommation d’eau totale de 50 l/d par pers. environ. Cette valeur représente la limite inférieure de la consommation d’eau dans une maison équipée d’appareils sanitaires qui économisent l’eau, et en supposant que les occupants ne font guère d’efforts conscients. Cette réduction de la consommation d’eau de 47 p. cent représente une économie annuelle globale d’environ \$650 par ménage, au tarif le plus bas, et de \$1 300 au tarif le plus élevé, par rapport aux appareils sanitaires classiques.

**Édifices publics.** — Pour la plupart des édifices publics tels les écoles, les bureaux, les hôtels ou les buanderies, le taux d’utilisation des appareils est plus élevé que dans une habitation; par conséquent, les recommandations du tableau 10 devraient être considérées comme minimales. Outre les dispositifs d’usage domestique, des robinets à fermeture automatique et des douches à faible débit avec minuterie devraient être installés. L’installation de robinets à jet diffusé devrait également être considérée pour les lavabos, surtout lorsque le prix des services publics est élevé. Il serait souhaitable, et parfois nécessaire, d’installer des robinets mélangeurs à thermostat commandant plusieurs appareils, ainsi qu’un système de circulation d’eau chaude.

**Situations difficiles.** — Des mesures sévères visant à réduire la consommation d’eau peuvent s’imposer quand le coût des services publics est très élevé, ou lorsque les réserves en eau sont limitées. Étant donné qu’un service de distribution par camions-citernes assure une faible consommation d’eau et offre des possibilités supérieures de contrôle, il faudra probablement écarter la possibilité d’un réseau de canalisations classique, et peut-être même celle d’un système non gravitaire de collecte des eaux usées. Car même dans ce dernier cas, la réutilisation de l’eau pour l’usage domestique ne se compare pas avantageusement aux méthodes de conservation. Les maisons devraient être équipées de cabinets à clapet étanche actionné mécaniquement, ou de cabinets

à recirculation. Les usagers devraient se servir d'une douche-téléphone avec robinet "marche-arrêt" incorporé, ce qui nécessiterait un système de circulation d'eau chaude ou une conduite de retour, et des robinets mélangeurs à thermostat. Des robinets à jet diffusé pourraient être installés aux lavabos; aux autres endroits, on poserait des robinets mélangeurs équipés d'aérateurs et de réducteurs de débit. Avec une laveuse à chargement par l'avant, ces appareils pourraient réduire de 78 p. cent la consommation d'eau distribuée par camions-citernes, ce qui ramènerait la consommation totale de 95 l/d par pers. à 21 l/d par pers. Si on utilisait une buanderie centrale, la consommation serait de 13 l/d par pers. seulement. Dans certains cas, une buanderie centrale avec recyclage de l'eau serait économique, mais cette solution devrait être envisagée avec circonspection, étant donné la complexité des traitements qu'elle exige.

### ÉTUDES FUTURES

La présente étude s'appuie sur un certain nombre de présupposés qui restent à vérifier. Il faudrait étudier, en particulier, les paramètres de la consommation de l'eau dans les habitations du Nord desservies par camions-citernes.

Nombre d'affirmations faites dans le cadre de cet exposé sur les techniques de conservation de l'eau restent à démontrer, qu'il s'agisse des modifications ou de nouvelles installations, des réseaux d'adduction ou des systèmes de transport par véhicule. Les études à venir devraient se préoccuper davantage des opinions des usagers, du contrôle de la consommation d'eau et de la détermination des paramètres économiques. On pourrait tester des dispositifs particuliers, mais il faudrait surtout étudier des maisons entièrement équipées de systèmes de conservation de l'eau. Deux catégories de techniques seraient à examiner et à évaluer. La première, celle des techniques connues et disponibles, comprendrait les appareils comme les pommes de douche à faible débit, les aérateurs équipés de réducteurs de débit, les modifications de cabinets classiques, les modèles de cabinets européens et les cabinets à recirculation. La seconde, celle de la technologie nouvelle ou en voie de développement, devrait être appliquée à des situations plus particulières et mieux contrôlées. On étudierait les douches-téléphone avec robinet "marche-arrêt" incorporé, les systèmes de circulation d'eau chaude ou de conduite de retour, et la réutilisation de l'eau dans les buanderies centrales.

Il importe d'appuyer la poursuite des projets de recherche et de développement entrepris au chapitre des techniques de conservation de l'eau, non seulement pour améliorer le confort des usagers et susciter des réactions favorables, mais aussi pour réduire le coût en capital et le coût d'exploitation des systèmes. Les innovations technologiques à venir pourraient être précieuses dans certains domaines : lave-vaisselle et laveuses automatiques consommant très peu d'eau ou même pas d'eau du tout, systèmes simplifiés de recyclage des eaux grises pour les habitations et les buanderies centrales, cabinets à compost sûrs, esthétiques et compacts, ne nécessitant pas d'apport et chaleur.

### CONCLUSION

Moyennant une mise en oeuvre prudente et une réaction favorable des usagers aux méthodes et techniques de conservation de l'eau, il est possible d'améliorer beaucoup plus rapidement que prévu le niveau des services publics et la salubrité dans bon nombre de collectivités du Nord. Les programmes de conservation de l'eau permettront d'améliorer sensiblement la situation économique au niveau des services, et donc d'assouplir les budgets. En outre, la baisse de la consommation domestique aura une influence sur les types de services d'eau et d'égout qui peuvent être rentables dans les localités du Nord. Ainsi, le coût des systèmes de transport par véhicule étant directement lié à la consommation de l'eau, une réduction de la demande jouera considérablement en leur faveur sur le plan économique.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- American Water Works Association, "Determination of Water Rates Schedules", *Journal of American Water Works Association*, 46(3) : 187-219, 1954.
- Anderson, J.S. et K.S. Watson, "Patterns of Household Usage", *Journal of American Water Works Association*, 59(10) : 1228-1237, 1967.
- Armstrong, B.C. et P.W. Given, *Alternatives to Existing Water Bleeders*, Sous-section de la technologie du Nord, Service de la protection de l'environnement, Edmonton, Alberta, rapport interne, 1979.

- Associated Engineering Services Ltd., *Field Survey and Report on Sewerage, Inuvik, N.W.T.*, préparé pour le Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Edmonton, Alberta, 56 pages, 1970.
- Bennett, E.R., "Impact of Flow Reduction on On-lot Sewage Systems", *Conference on Water Conservation and Sewage Flow Reduction with Water-Saving Devices*, W.E. Sharpe et P.W. Fletcher (éd.), Institute for Research on Land and Water Resources, Pennsylvania State University, Pennsylvanie, rapport n° 74, pp. 57-69, 8-10 avril 1975.
- Betker, R., communication personnelle, City of Edmonton, Department of Water and Sanitation, Edmonton, Alberta, 1977.
- Cameron, J.J., *Community Water Use Summary, NWT*, Sous-section de la technologie nordique, Service de la protection de l'environnement, Edmonton, Alberta, rapport interne.
- Cameron, J.J. et B.C. Armstrong, *Water and Energy Conservation Alternatives for the North*, Sous-section de la technologie nordique, Service de la protection de l'environnement, Edmonton, Alberta, et Gouvernement territorial, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest, 1979.
- Chan, M.L., J. Edwards, M. Roberts, R. Stedinger et L. Wilson, *Household Water Conservation and Wasterwater Flow Reduction*, Office of Water Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., contrat n° 68-02-2964, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, publication n° PB-265 578, 143 pages, 1976.
- Cohen, S. et H. Wallman, *Demonstration of Waste Flow Reduction from Households*, National Environmental Research Centre, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA-670/2-74-071, 103 pages, 1974.
- Cole, C.A., "Impact of Home Water Saving Devices on Collection Systems and Waste Treatment", *Conference on Water Conservation and Sewage Flow Reduction with Water-Saving Devices*, W.E. Sharpe et P.W. Fletcher (éd.), Institute for Research on Land and Water Resources, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, rapport n° 74, pp. 47-55, 8-10 avril 1975.
- Consumer Reports*, "Water : Time to Start Saving?", 43(5) : 294-295, 1978.
- U.S. Environmental Protection Service, *National Inventory of Municipal Waterworks and Wastewater Systems in Canada 1975*, Service de la protection de l'environnement, Pêches et Environnement Canada, 543 pages, 1977.
- Foster, R.R., T.J. Parent et R.A. Sorokowski, "The Eskimo Point Water Supply Program", *Utilities Delivery in Arctic Regions*, Colloque tenu à Edmonton, Alberta, les 16, 17, 18 mars 1976, D.W. Smith (éd.), Service de la protection de l'environnement, rapport EPS 3-WP-77-1, Ottawa, pp. 553-575, 1976.
- Given, P.W. et H.G. Chambers, "Workcamp Sewage Disposal Washcar-Incinerator Complex, Ft. Simpson, N.W.T.", in *Some Problems of Solid and Liquid Waste Disposal in the Northern Environment*, J.W. Slupsky, (éd.), Service de la protection de l'environnement, région du Nord-Ouest, rapport EPS-4-NW-76-2, pp. 1-42, 1976.
- Grima, A.P., *Residential Water Demand; Alternative Choices for Management*, université de Toronto, département de géographie, Presses de l'université de Toronto, 211 pages, 1972.
- Gysi, M. et G. Lamb, "An Example of Excess Urban Water Consumption", *Canadian Journal of Engineering*, 4(1) : 66-71, 1977.
- Hansen, R.G., "Unit Water Use in Alaskan Municipal Water Supplies", in *Environmental Standards for Northern Regions*, D.W. Smith et T. Tilsforth (éd.), Institute of Water Resources, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, IWR no. 62, pp. 321-339, 13-14 juin 1974.
- Howe, C.W. et F.P. Linaweaver (Jr.), "The Impact of Price on Residential Water Demand and its Relation to System Design and Price Structure", *Water Resources Research*, 3(1) : 13-32, 1967.
- Konen, T.P. et R. Deyoung, "An Investigation of the Performance and the Effects of Reduced Volume Water Closets on Sanitary Drainage, Sewers, and Sewage Treatment Plants", *Conference on Water Conservation and Sewage Flow Reduction with Water-Saving Devices*, W.E. Sharpe et P.W. Fletcher (éd.), Institute for Research on Land and Water Resources, The Pennsylvania State University, Pennsylvania, rapport n° 74, pp. 155-171, 8-10 avril 1975.
- Ligman, K., N. Hutzler et W.C. Boyle, "Household Wastewater Characterization", *Journal of the Environmental Division*, 100 (EE1) : 201-213, 1974.
- Murphy, R.S., G.V. Jones, S.F. Tarlton (Dame and Moore), *Water Supply and Wastewater Treatment at Alaskan Construction Camps*, rapport final, contrat n° DACA 89760012, préparé pour le Cold Region Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., 1977.
- Nelson, J.O., *North Marin's Little Compendium of Water Saving Ideas*, North Marin County Water District, Novato, California, 273 pages, 1977.
- Reid, B.H., "Some Technical Aspects of the Alaska Village Demonstration Projects", *Utilities Delivery in Arctic Regions*, Colloque tenu à Edmonton, Alberta, 16-18 mars 1976, D.W. Smith (éd.), Service de la protection de l'environnement, rapport EPS-3-WP-77-1, Ottawa, pp. 391-438, 1977.
- Schatzbert, P., D.F. Jackson, C.M. Kelly et L.R. Harris, "Energy Conservation Through Water Resource Management - A Reduced Flow Bathing Shower", *Second National Conference on Water Reuse : Water's Interface with Energy, Air and Solids*, Chicago, 4-8 mai 1975.
- Siegrist, R., M. Witt et W.C. Boyle, "Characteristics of Rural Household Wastewater", *Journal of the Environmental Division*, 102(EE3) : 533-548, 1978.
- Smith, G.E., *Economics of Water Collection and Waste Recycling*, Department of Architecture, Technical Research Division, University of Cambridge, 45 pages, 1973.
- Stanley Associates Engineering Ltd., *Final Report on Community Services Improvement Program, Yukon Territory*, préparé pour le gouvernement territorial, Territoire du Yukon, Whitehorse, 295 pages, 1974.

- U.S. Environmental Protection Agency, *Reduction in Water Consumption and Flow of Sewage – Report to Congress*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 35 pages, 1974.
- Wallman, H., “Should We Recycle/Conserve Household Water?”, *6th International Water Quality Symposium*, Water Quality Research Council, pp. 75-76, 18-19 avril 1972.
- Washington Suburban Sanitary Commission, *Final and Comprehensive Report, Cabin John Drainage Basin Water-Saving Customer Education and Appliance Test Program*, Washington Suburban Sanitary Commission, Hyattsville, Maryland, 30 pages, 14 fév. 1973.
- Whitford, P.W., “Residential Water Demand Forecasting”, *Water Resources Research*, 8(4) : 829-839, 1972.

DEUXIÈME SÉANCE  
CONSIDÉRATIONS ÉNERGÉTIQUES

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ÉOLIENNE POUR SERVICES SANITAIRES  
ÉTUDE DE CAS

Michael A. Crawford  
Ellerbe Alaska, Fairbanks, Alaska  
Timothy J. Bergin  
Alaska Department of Environmental Conservation, Juneau, Alaska

Pour les petites collectivités arctiques ou subarctiques isolées, d'accessibilité saisonnière, disposer d'installations sanitaires économiques et adéquates est un objectif important du point de vue de l'hygiène et de la santé. Souvent, les moyens financiers existent pour construire, dans ces régions, des installations que la population locale trouve difficiles à exploiter et à entretenir. Le projet dont il est question dans cette étude cherche à solutionner ce problème en proposant l'usage de l'énergie électrique éolienne, le stockage électrique dans des accumulateurs, le stockage de l'eau ainsi que l'approvisionnement en un point unique par réseau gravitaire.

**FINANCEMENT DU PROJET**

Ce projet a été financé par un octroi que l'État d'Alaska a accordé à la Council Safewater Corporation, du village de Council (Alaska), dans le cadre du Programme pour la salubrité de l'eau dans les villages (Village Safe Water Program). Les services de conception et de surveillance du chantier ont été assurés par Ellerbe Alaska. Le Department of Environmental Conservation s'est chargé de revoir les éléments conceptuels et d'effectuer la vérification financière, au nom de la Council Safewater Corporation. Les travaux ont été accomplis par les ouvriers du village.

**LE VILLAGE DE COUNCIL**

Council (Alaska), est un petit village de pêche et d'exploitation minière, situé sur la Niukluk River, à environ 50 milles à l'est-nord-est de Nome. À 90 p. cent, la collectivité s'est établie sur une bande d'un mille, le long de la rive nord de la rivière; le reste du village occupe la rive sud. La localité compte environ 30 résidents permanents; en été, sa population double quand les habitants de Nome viennent y passer la fin de semaine et que les amateurs de pêche viennent s'y installer. En cette saison, il est possible de se rendre au village en véhicule, en empruntant un gué sur la rivière Niukluk et une route venant de Nome.

La route de Nome et les deux pistes d'atterrissage du village ne sont pas entretenues en hiver. Pendant les mois d'hiver, on peut se rendre au village en nolisant, à partir de Nome, des avions à skis. L'économie du village est basée sur la chasse et la pêche de subsistance, le piégeage commercial, les services de guide, les mines d'or, les travaux de construction en plein air (en été), les bénéfices des corporations autochtones régionales et l'aide publique.

Avant l'achèvement de ce projet, le village se ravitaillait en eau à la Niukluk et à Snelson Creek. Pendant la saison du frai du saumon, en été, la putréfaction des poissons morts contaminait les deux cours d'eau et les villageois devaient aller chercher l'eau à un petit ruisseau, à une distance d'environ trois milles, ou à de petites sources saisonnières du voisinage. En hiver, ils devaient creuser un trou dans la glace pour se procurer de l'eau.

Pour les déchets humains, les villageois utilisaient des seaux hygiéniques, dont ils rejetaient le contenu loin de la localité. Il n'existait aucune installation sanitaire pour les "citadins" qui venaient en fin de semaine.

Le village proprement dit est situé au sommet d'un escarpement schisteux faisant face au sud, à 60 pieds au-dessus de la rivière Niukluk. L'escarpement présente des zones quasi-verticales dues aux éboulements de schiste fracturé et érodé qui tombent dans la rivière. En général, une partie du cours d'eau échappe à l'embâcle pendant tout l'hiver. Cette partie se trouve près de la rive sud, presque en face d'une des zones érodées de l'escarpement.

L'affaissement plus ou moins marqué des vieilles maisons abandonnées indique des zones de pergélisol discontinues sous le village. Le site est vaste et balayé par les vents : en discutant avec les villageois, on apprend que la vitesse moyenne annuelle du vent varie de 10 à 14 noeuds. L'emplacement du village est délimité à l'est, au sud et à l'ouest par des concessions minières alluviales enregistrées.

### CRITÈRES DE CONCEPTION

Les critères de conception pour les installations étaient les suivants :

#### A. – Eau potable ou domestique :

- 1) Saison d'hiver : population de 30 personnes;  
Saison d'été : population de 60 personnes;  
Consommation d'eau : 5 gal/d/pers. (19 l/d/pers.);
- 2) Disponible et salubre toute l'année;
- 3) Distribution en un point unique, où les villageois peuvent remplir des récipients ou des bonbonnes pour les transporter chez eux;
- 4) L'installation doit être construite par la main-d'oeuvre locale;
- 5) L'exploitation et l'entretien doivent être simples, fiables et économiques;
- 6) Sources d'énergie non classiques à considérer;

#### B. – Déchets sanitaires :

- 1) Cabinets extérieurs à prévoir sur certains emplacements pour les estivants et les villageois;
- 2) Aucune nouvelle installation de collecte et d'évacuation des seaux hygiéniques pour les villageois.

### CONCEPTS POSSIBLES

Nous avons étudié quatre sources d'eau possibles, dans chacun des cas, l'eau était stockée dans un bâtiment chauffé.

La première méthode considérée (et écartée), était celle du transport de l'eau par véhicule – l'eau provenant d'un petit ruisseau non contaminé en été, et de la glace dégelée de la rivière en hiver. Cette méthode a été éliminée vu la qualité extrêmement douteuse des deux sources d'eau, les problèmes d'entretien des véhicules, la nécessité de réservoirs à la fois dans les véhicules et le bâtiment, le dégel de la glace et la chloration de l'eau.

Les deuxième et troisième possibilités, considérées puis écartées, prévoyaient l'installation d'un drain de captage français dans les gravillons du lit de Snelson Creek ou de Niukluk River. Les sites de Snelson Creek ont été éliminés pour les raisons suivantes : existence d'une concession minière alluviale enregistrée, gel du trop plein d'hiver, protection anti-gel de la pompe et de la conduite de décharge, débordement du ruisseau à la fonte des neiges, et refoulement des eaux d'inondation de la rivière Niukluk. Les sites de la rivière Niukluk ont été exclus à cause des problèmes posés par l'escarpement. Si l'on avait décidé de construire les installations sur la rive, au bas de l'escarpement, l'accès à partir du village aurait été difficile et les inondations au printemps et en été auraient posé des problèmes importants. Au contraire, si on avait choisi de les placer au sommet de l'escarpement, il aurait été difficile de protéger la pompe et la conduite de décharge contre le gel en hiver, ou contre les dommages faits par la glace lors du dégel.

La dernière possibilité, qui a été retenue, consistait à forer un puits au centre du village. Au stade de la conception, cette solution a été retenue comme la meilleure pour la raison suivante : les sources de la formation aquifère, qui sont généralement fiables et non contaminées, sont faciles à protéger contre le gel et demandent un minimum d'entretien.

Compte tenu d'une profondeur prévue de 60 pi, on a préféré une pompe électrique submersible à une pompe à jet. On avait pensé à une pompe à piston en cuir mue par le vent, mais cette possibilité a dû être écartée à cause des problèmes de contrôle de la capacité, vu le faible rendement du puits, la courte vie utile des cuirs, la nécessité de protéger le puits contre le gel, ainsi que le manque d'alimentation en eau lorsqu'il n'y a pas de vent.

Les installations d'élimination des déchets sanitaires n'ont pas été considérées pour les raisons suivantes : le village est situé sur une bande de terrain trop étendue, problèmes de manutention des seaux hygiéniques, considérations économiques et réticences des villageois.

Les membres de la localité ont signalé que les "citadins" de fin de semaine, les automobilistes faisant un voyage d'un jour à partir de Nome, et le trafic aérien sur pistes improvisées créaient de sérieux problèmes d'évacuation des déchets. La solution économique et pratique semblait être d'installer, à des endroits stratégiques du village, des cabinets extérieurs munis de raccordements de vidange. (Il est possible de faire vidanger les fosses septiques, en été, par un service de camions venant de Nome). Autre solution : on pouvait modifier l'emplacement des cabinets extérieurs puis traiter les anciennes fosses à la chaux avant de les remblayer.

### CONCEPTION DU SYSTÈME

Le projet prévoyait les éléments suivants : réservoir de stockage, tubage, pompe immergée et crépine, et ruban chauffant de 300 W sur le tuyau de descente du puits; réserve d'eau de 1 000 gallons, génératrice éolienne de 1 kW et 24 V, groupe d'accumulateurs de 1 400 ampères-heure fournissant 2,5 kW, 24 V, en courant continu vers un onduleur de 110 V et 60 Hz, système de chauffage au mazout, équipement auxiliaire composé d'un groupe électrogène diesel de 3 kW et d'un chargeur de batteries. Le remplissage des bidons et des batteries se fait manuellement depuis un déversoir. L'énergie électrique pour la pompe du puits, le ruban chauffant, le radiateur et l'éclairage, est normalement fournie par le groupe d'accumulateurs, par l'intermédiaire de l'onduleur — les accumulateurs étant rechargés automatiquement par la génératrice éolienne. Pendant les périodes prolongées de vents faibles, la génératrice auxiliaire peut recharger les accumulateurs et alimenter la pompe du puits afin de remplir des réservoirs de stockage (ces opérations étant manuelles).

### CONCEPTION DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

La consommation d'eau prévue pour l'hiver est de 150 gal/d (30 pers.  $\times$  5 gal/pers.), celle prévue pour l'été étant de 300 gal/d (60 pers.  $\times$  5 gal/pers.). Pour établir la dimension des réservoirs et du groupe d'accumulateurs, on a supposé une capacité de stockage de trois jours. Il s'agit là d'une période raisonnable pour l'opération manuelle de la génératrice et de la pompe par le préposé du village. Pour atteindre une capacité de stockage de 900 gal, il fallait compter 1 000 gal et supposer un rendement de 90 p. cent. Après un examen des dimensions et du poids des réservoirs, on a estimé qu'il faudrait deux réservoirs de 500 gallons si l'on voulait que les gens du village puissent faire l'installation eux-mêmes, sans avoir à utiliser d'équipement de levage mécanique.

Dans le cas des puits de schiste fracturé, l'expérience indique un rendement possible de 2 à 5 gal US/mn. La pratique montre également qu'il est prudent de prévoir une crépine en aval de la pompe immergée lorsque la formation aquifère est composée de schiste fracturé, afin de prévenir l'engorgement à long terme des trous ouverts.

La pompe et la crépine ont été sélectionnées et achetées avant le forage du puits. À l'examen des pompes disponibles, on s'est décidé en faveur d'un modèle ayant une capacité de 5 gal US/mn (19 l/s) pour une hauteur totale de refoulement de 90 pieds (27,4 m). Il s'agit là de la plus petite pompe submersible pour puits que l'on puisse acquérir. Les caractéristiques du moteur de la pompe sont les suivantes : 1/3 hp, 110 V, 60 Hz, monophasé, trois fils, démarrage par condensateur, facteur de puissance opérationnelle de 0,56. Le moteur a été modifié par l'ajout d'un condensateur de marche de 35 microfarads, pour avoir les deux fonctions de démarrage et de marche sur condensateurs. Ce condensateur de marche était nécessaire pour assurer la stabilité de fonctionnement de l'onduleur électronique à semi-conducteurs. Le condensateur de marche a porté le facteur de puissance opérationnelle à 0,85. Le moteur modifié consomme 600 W, et les commandes de la pompe consomment 100 W de plus quand la pompe est en marche. La pompe fonctionne automatiquement au moyen d'un interrupteur flottant à mercure recouvert de polyéthylène, ayant une plage différentielle de 3,75 pouces (9,5 cm). L'interrupteur flottant est suspendu à l'intérieur de l'un des réservoirs. La consigne d'arrêt de la pompe est située à 6 pouces (15 cm) en-dessous du haut du réservoir, ce qui établit un champ de fonctionnement de 60 gallons (230 l) par cycle de pompage pour les deux réservoirs.

Le tuyau de descente de la pompe est équipé d'un ruban chauffant de 300 W qui le protège contre le gel. À l'origine, on avait prévu un ruban de 100 W. Mais lors du forage du puits on a découvert du roc à une profondeur de 3 pieds (0,9 m); il a donc fallu augmenter la puissance du ruban chauffant pour compenser le raccourcissement de l'enceinte calorifugée du puits et les pertes de chaleur accrues.

Le tuyau de descente du puits était alors composé de tronçons de 10 pieds (3,05 m) d'un tubage en acier galvanisé, à bouts filetés, pour permettre de remonter la pompe de fond. Tous les joints filetés étaient enveloppés deux fois d'un ruban vinylique étanche afin de minimiser la corrosion des filetages. Pour le préserver du gel, le tuyau de descente a été muni d'un orifice de purge à l'endroit du refoulement de la pompe, ce qui permet de vidanger le tuyau lorsque la pompe est à l'arrêt. Pour protéger l'intérieur des réservoirs de stockage contre la corrosion, on y a appliqué une couche d'une peinture époxyde approuvée par la National Sanitation Foundation (NSF). Les réservoirs ont été installés sur des bases d'appui en acier à contre-fiches, à une hauteur de 3 pi 6 po (1,1 m), pour permettre la distribution de l'eau par gravité et l'utilisation de réservoirs à basse pression. La tuyauterie était entièrement en cuivre soudé à l'étain et la robinetterie en bronze. Entre métaux différents, on a monté des raccords diélectriques pour empêcher la corrosion galvanique. On a prévu un compteur pour contrôler la consommation totale d'eau. Une soupape équilibrée a été installée sur la conduite de refoulement, afin d'apparier la capacité de la pompe à celle du puits.

Remarque. – Un essai de capacité du puits a donné 3 gal US/mn (11,4 l/mn) et la soupape équilibrée a été réglée pour une capacité de pompage de 2,5 gal US/mn (9,5 l/mn), de façon à assurer la longévité maximale de la pompe. Comme les couches aquifères composées de schiste fracturé sont bien connues pour leur teneur élevée en fer et la mauvaise qualité de leur eau, on a conçu un système permettant d'utiliser un équipement standard pour le traitement de l'eau domestique. Ce système s'est révélé inutile car, à la surprise de tous les intéressés, la qualité et le goût de l'eau étaient excellents. L'analyse en laboratoire a donné les résultats suivants : pH, 7,5; aucun colibacille fécal; MTD, 139 mg/l; fer, 0,14 mg/l, aucune trace de minéraux à l'état dissous s'approchant des limites établies par les normes de l'État de l'Alaska.

Le réseau de distribution est illustré à la figure 1.

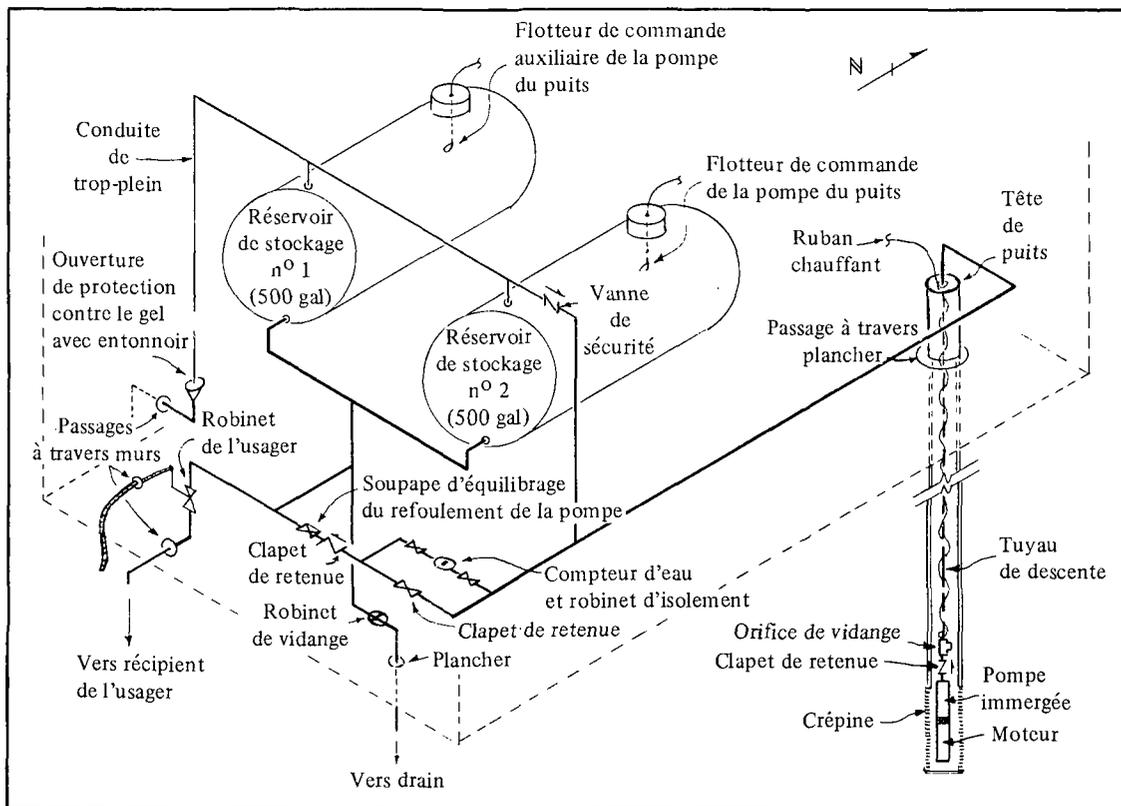


Figure 1 Schéma du réseau de distribution

## CONCEPTION DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Un système à génératrice éolienne et à batterie a été choisi comme source primaire d'énergie électrique suite à une consultation du personnel local, une étude du Department of Environmental Conservation et après l'approbation de la Council Safewater Corporation.

On a questionné les villageois et les pilotes d'avion locaux, afin de déterminer approximativement la vitesse moyenne du vent et la durée des périodes de vent faible. La source de données fiables la plus proche étant la ville de Nome (Alaska), on a demandé aux personnes interrogées de comparer les vents de Council à ceux de Nome. À la suite de ces entrevues, on a évalué que la vitesse moyenne du vent était de 10 à 14 noeuds, et que les périodes peu fréquentes de vent calme pouvaient généralement durer trois ou quatre jours. Pour la conception du projet, on a présumé que la vitesse moyenne du vent s'établissait à 19,3 km/h et que la période de calme était de 4 jours. Les périodes de calme durant plus de 4 jours exigeraient l'opération manuelle du groupe électrogène auxiliaire par le préposé du village.

## CONSOMMATION ÉLECTRIQUE QUOTIDIENNE (VALEUR D'ÉTUDE)

### ÉTÉ

Pompe du puits :

300 gal/d/2,5 gal/mn × 1/60 h/mn	= 2 h/jour de fonctionnement de la pompe
Moteur : 600 W × 2 h	= 1 200 Wh/d
Commandes : 100 W × 2 h	= 200 Wh/d
Éclairage : 2 ampoules de 60 W × 4 h/d	= 480 Wh/d
Pertes à l'onduleur : 40 W × 24 h/d	= <u>960 Wh/d</u>
Consommation totale en été (valeur d'étude)	= 2 840 Wh/d

### HIVER

Pompe du puits :

150 gal/d/2,5 gal/mn × 1/60 h/mn × 600 W	= 600 Wh/d
Commandes de la pompe du puits : 100 W × 1 h/d	= 100 Wh/d
Ruban chauffant du puits : 100 W × 24 h/d	= 2 400 Wh/d
Éclairage : 2 ampoules de 60 W × 12 h/d	= 1 440 Wh/d
Pompe du système de chauffage au mazout :	
30 W × 1 h/d	= 30 Wh/d
Pertes à l'onduleur : 40 W × 24 h/d	= <u>960 Wh/d</u>
Consommation totale en hiver :	= 5 530 Wh/d

On a utilisé la valeur d'étude de 5 530 Wh/d pour l'hiver. Moyennant un rendement de 80 p. cent des accumulateurs, cette valeur équivaut à un stockage d'énergie utile de  $5\,530/0,8 = 6\,913$  Wh/d.

## CONCEPTION DU SYSTÈME À BASE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ÉOLIENNE

En s'approvisionnant à partir des réserves d'eau de 3 400 litres pendant les quatre jours de vent calme prévus, on élimine le besoin de faire fonctionner la pompe du puits. Mais une estimation réaliste tient compte du fait que la pompe ne doit pas être arrêtée avant que la batterie d'accumulateurs n'ait besoin d'une recharge manuelle. Par conséquent, le stockage électrique nécessaire est de  $6\,913$  Wh/d × 4 jours, soit  $27\,652$  Wh. Pour un système de 24 V, il faut donc un stockage minimum de 1 152 Ah. Compte tenu d'un facteur de sécurité de 25 p. cent pour le vieillissement des accumulateurs, le stockage initial des accumulateurs s'élève à 1 440 Ah. On a choisi des accumulateurs industriels, au plomb, à forte décharge. Les accumulateurs Trojan L-16 de 6 V et d'une puissance nominale de 350 Ah répondaient aux critères de conception. Les accumulateurs sont disposés en série et en parallèle — 4 rangées montées en parallèle, comportant chacune 4 accumulateurs en série, le tout fournissant 24 V en courant continu.

Le choix de la génératrice éolienne a été fait en fonction d'une production quotidienne moyenne de  $6\,913$  Wh ou 288 watts par heure, avec des vents de 19,3 km/h. Le modèle SL-1000 fabriqué par Aero Power Systems Incorporated répondait aux critères de conception. Cette génératrice éolienne a une puissance nominale de 1 000 W avec des vents de 32 km/h, ou de 300 W avec des vents de 19,3 km/h. La génératrice s'enclenche lorsque la vitesse du vent atteint 11,2 km/h. La génératrice éolienne Aero Power comprend un alternateur à

engrenage, triphasé, à fréquence variable, et une turbine éolienne d'un diamètre de 1,8 m à trois pales de bois. Un tableau de commande installé à distance transforme le courant alternatif triphasé en courant continu; il comprend également le régulateur de tension du champ de l'alternateur. Cet équipement particulier a été choisi parce qu'il présentait les caractéristiques suivantes :

- 1) Alternateur (pas de balais à remplacer en haut de la tour), avec tableau de commande et redresseur installés à distance (pas d'organe électronique en haut de la tour).
- 2) Capacité de rotation de 360°, grâce à l'utilisation d'anneaux collecteurs et de balais pour les transferts de puissance et de courant de champ.
- 3) Entraînement à engrenage pour optimiser la puissance par vents faibles.
- 4) Orientation centrifuge des pales par système à ressort afin de minimiser la vitesse de rotation par vents forts; le déclenchement manuel et la remise en mouvement peuvent être effectués du bas de la tour de façon à pouvoir neutraliser la turbine et l'alternateur sans avoir à monter au sommet de la tour en cas d'urgence ou de vents extrêmement forts.
- 5) Pales de la turbine faites d'une épinette Sitka de qualité avion, protégée de trois couches de peinture époxyde.
- 6) Ensemble génératrice éolienne, tour, tableau de commande, groupe d'accumulateurs et onduleur c.c./c.a. constituant un système intégré éprouvé, avec une seule source de responsabilité.

On a estimé qu'un onduleur c.c./c.a. de 1 500 W serait suffisant pour la conversion du courant électrique. Compte tenu du grand appel de courant et des caractéristiques de fonctionnement des moteurs à induction monophasés (moteur de la pompe de fond), on a installé un onduleur d'une puissance nominale de 2 500 W. On a choisi le modèle BR24-2500 fabriqué par Best Energy Systems; il présentait les caractéristiques suivantes :

- 1) Rendement de conversion de 90 p.cent à la puissance de sortie nominale avec une réserve de soutirage de 40 W.
- 2) Coupure automatique en cas de tension continue d'entrée trop basse ou trop élevée, avec protection contre l'inversion de polarité.
- 3) Sortie sinusoïdale modifiée pour un fonctionnement optimal du moteur.

Un groupe électrogène diesel auxiliaire de 3 kW a été prévu pour alimenter la pompe et recharger les batteries pendant les périodes de demande inhabituellement élevée ou les longs intervalles de vents faibles. On a choisi un groupe diesel pour pouvoir utiliser du mazout arctique n° 1 et éviter ainsi les problèmes de stockage, de manutention et les vols d'essence. Le système d'alimentation en combustible prévoit le fonctionnement continu du groupe électrogène. On a adopté le plus petit groupe diesel disponible sur le marché : une unité de 3 kW, le modèle Onan 3,0 DJA-3C, câblé pour fonctionner à 120 V, 60 Hz, monophasé.

Un commutateur manuel a été prévu pour permettre au préposé du village de choisir soit l'onduleur c.c./c.a., soit le groupe auxiliaire, comme source de puissance pour les installations.

Le commutateur alimentait le tableau de distribution du bâtiment, lequel alimentait à son tour les quatre circuits de distribution électrique intérieure. Les circuits de distribution étaient les suivants : la pompe de fond et sa commande, la pompe à combustible de l'appareil de chauffage, le ruban chauffant du puits, l'éclairage, les doubles prises de courant. Le ruban chauffant avait son propre interrupteur avec lampe témoin, afin de permettre le fonctionnement de l'appareil de chauffage seul. Le système de distribution électrique est illustré à la figure 2; la figure 3 montre le système de commande de la pompe de fond.

### SYSTÈME D'ALIMENTATION EN COMBUSTIBLE

On a utilisé du mazout comme combustible pour le chauffage du bâtiment et pour alimenter le groupe électrogène diesel auxiliaire.

La méthode de calcul du chauffage en degrés-jours ASHRAE a indiqué une consommation de combustible de 575 gal US par an. On a estimé que les pertes de chaleur (y compris les infiltrations), seraient de l'ordre de 12 142 Btu/h (3,56 kW), la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur s'élevant à 90 °F (32 °C). Le nombre de degrés-jours de chauffage (°F) par an à Council est d'environ 15 000. Pour l'étude on a attribué une valeur calorifique de 7,89 kWh/l au mazout arctique n° 1. Quant à l'appareil de chauffage, on suppose qu'il a un rendement annuel de 65 p. cent.

On a calculé que si le groupe diesel était utilisé comme source primaire d'énergie pendant un an, la consommation de mazout s'élèverait à 3 300 litres. On a supposé une consommation moyenne de 0,38 l/h.

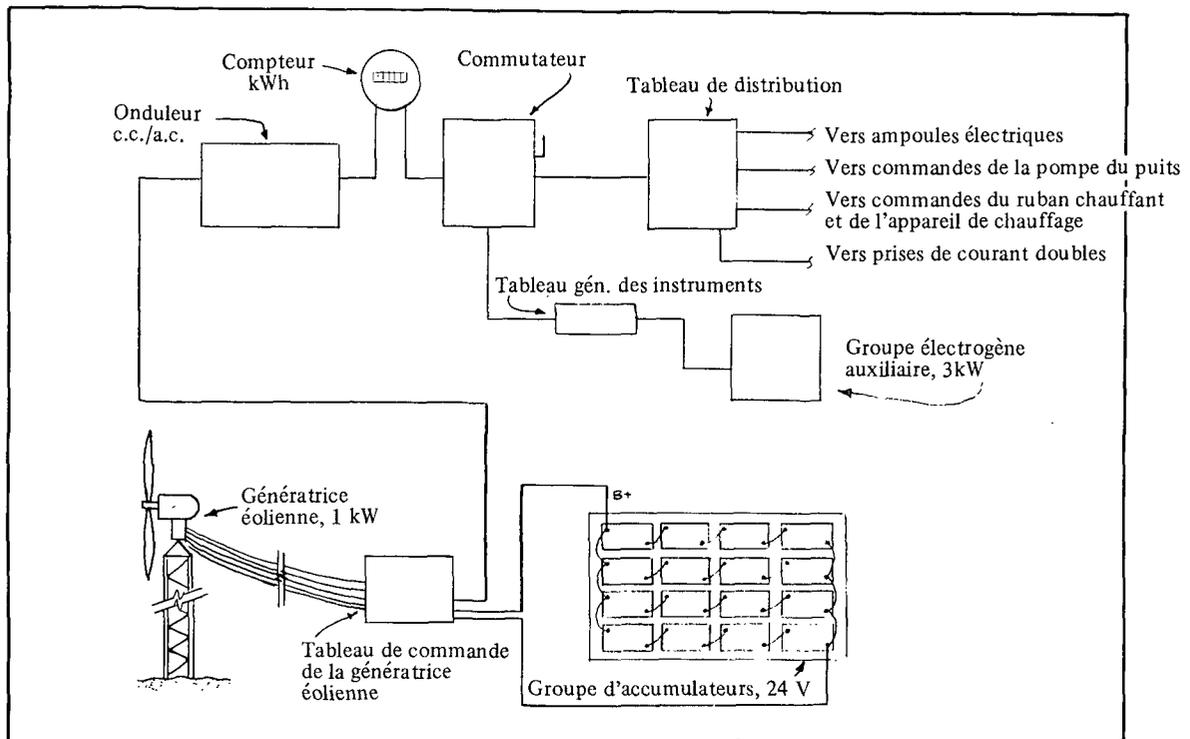


Figure 2 Schéma du système électrique

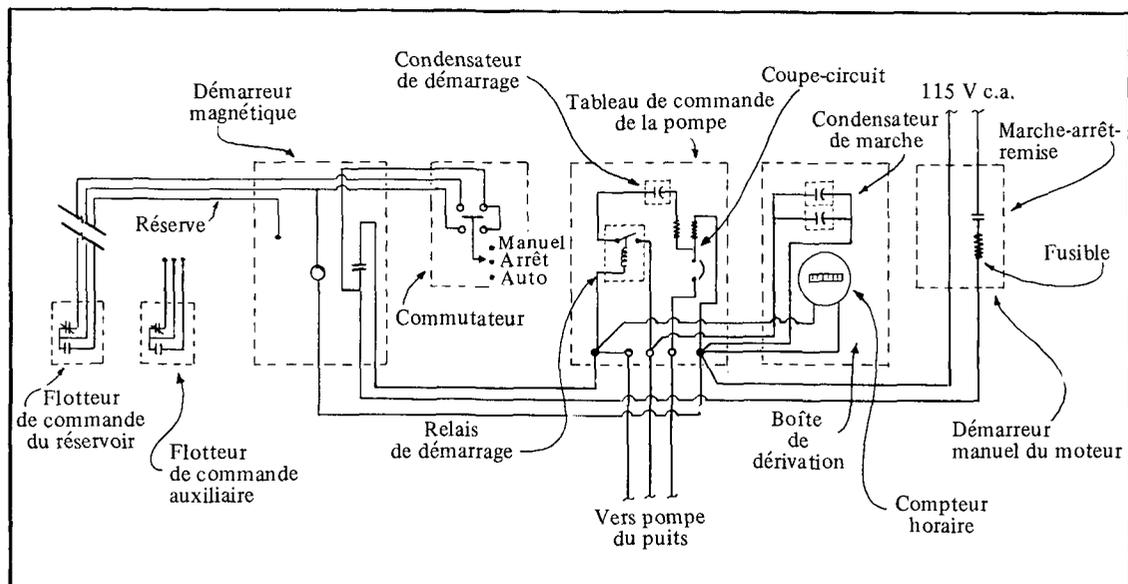


Figure 3 Dispositif de commande de la pompe du puits

L'installation était située dans un village reculé, dont l'accès était limité. De plus, ni le Department of Environmental Conservation, ni les ingénieurs du projet ne connaissaient le fonctionnement de l'équipement éolien. La prudence exigeait que l'on stocke sur place le combustible nécessaire à une année d'exploitation, afin d'assurer le fonctionnement de l'installation en cas de défaillance d'un élément du système éolien peu après le gel. Il fallait donc stocker 5 500 l de combustible, dans trois réservoirs de stockage en gros de 1 900 l chacun, et un réservoir de jour de 378 l. Les réservoirs de stockage en gros et le réservoir de jour sont reliés entre eux par un réseau de conduites au-dessus du sol. Les gros réservoirs de stockage sont construits à 30,5 m du puits, afin de respecter le Code de la santé en vigueur en Alaska.

Un réservoir de jour construit à proximité du bâtiment permettait de raccorder des canalisations d'alimentation et de retour en mazout au groupe électrogène.

On a prévu un appareil de chauffage à cuve de combustion fonctionnant au mazout afin de maintenir la température du bâtiment entre 10° et 21°C. Comme le réservoir de jour était placé plus bas que l'appareil de chauffage, on a prévu pour ce dernier une petite pompe élévatrice à membrane et une cuve d'alimentation.

La figure 4 montre le système de chauffage au mazout.

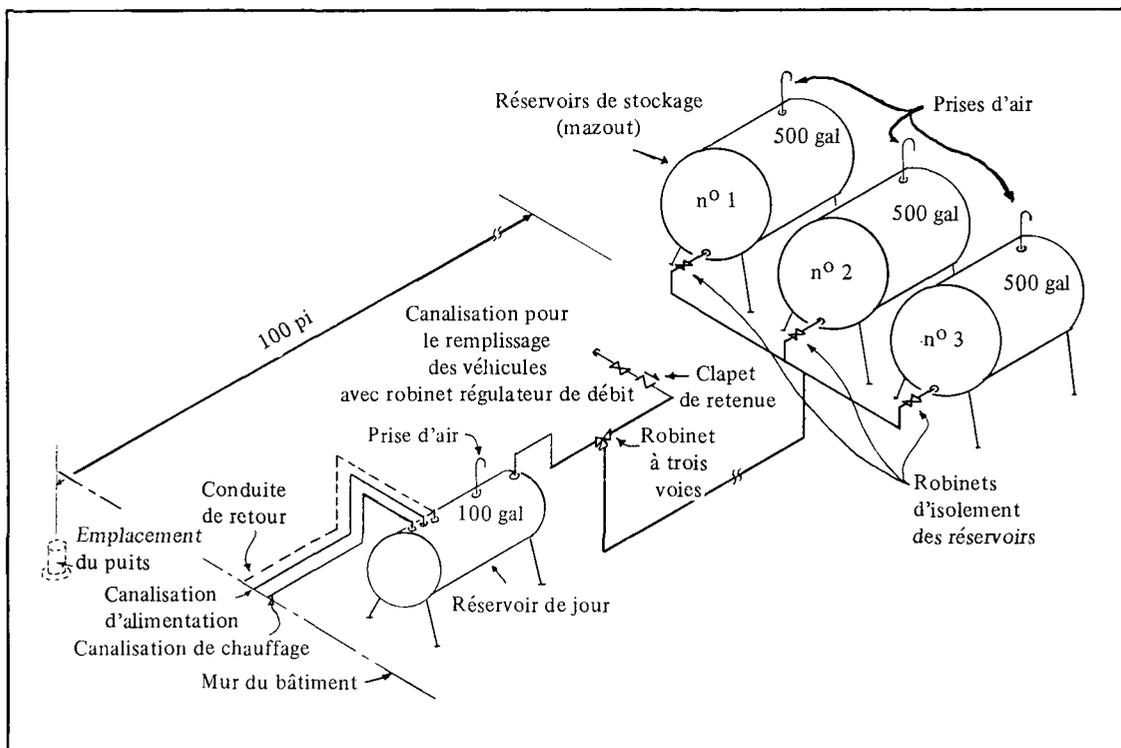


Figure 4 Système de chauffage au mazout

## LE BÂTIMENT

Les dimensions du bâtiment ont été déterminées en vue de loger les réservoirs de stockage de l'eau, l'appareil de chauffage, le groupe d'accumulateurs, le tableau de commande de la génératrice éolienne de l'onduleur, le groupe électrogène auxiliaire et un sas d'entrée. Résultat : un bâtiment de 6,4 m de long et 3,35 m de large. La figure 5 montre le plan au sol et la disposition de l'équipement. Le toit est à angle unique, le côté le plus élevé se trouvant au-dessus du puits pour qu'on puisse remplacer la pompe sans démonter le toit. Les fondations du bâtiment sont constituées de patins en bois traité. À l'étape de la conception, on croyait avoir affaire à un sol sensible au gel, qui se soulèverait et se tasserait, entraînant l'affaissement des fondations du bâtiment. Le système décrit ci-dessus aurait alors permis de rajuster le niveau avec des vérins et des coins ou des cales.

Après avoir découvert de la roche de fond à proximité de la surface, on s'est décidé en faveur du système de fondations indiqué à la figure 6.

Le bâtiment a été construit en bois, avec un toit métallique. Tous les murs extérieurs, le toit et le plancher, ont été isolés. La figure 6 montre le type de construction adopté.

## INSTALLATIONS SANITAIRES

Quatre cabinets extérieurs ont été construits et installés; deux sur la rive sud de la rivière Niukluk; l'un au gué de la rivière et l'autre sur un terrain de camping assez fréquenté. Le troisième est situé près de la piste principale d'atterrissage, le dernier à côté du bâtiment communautaire existant, qui se trouve à environ 137 m de la nouvelle installation d'eau potable.

## COÛT DU PROJET

Le coût du projet, à l'exclusion des frais liés à la conception et à la supervision des travaux, s'élevait à \$56 771 (US), dont \$12 992 pour le système éolien (génératrice éolienne, tableau de commande, accumulateur et onduleur) et \$13 303 pour le puits (forage, tubage, crépine, pompe et analyse de l'eau).

## ANALYSE ÉCONOMIQUE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

L'analyse économique indique que le coût de la génératrice éolienne et de l'équipement auxiliaire s'amortit en 8,7 années.

L'analyse présumait l'absence d'impôts et d'intérêts à payer, ainsi que l'absence de stimulants gouvernementaux visant à encourager l'emploi de sources parallèles d'énergie. En outre, on supposait que toute dépréciation de l'équipement serait de type linéaire. Le coût du combustible était estimé à \$0,26 (US)/l avec une augmentation annuelle de 12 p. cent. L'augmentation annuelle de tous les autres frais était estimée à 8 p. cent.

On a attribué au système éolien un handicap initial de \$13 000 (US) et une vie utile de 20 ans, sauf pour les batteries (5 ans), les pales (10 ans) et le groupe électrogène (10 ans). On a présumé que les coûts d'entretien seraient de \$100 pour le système éolien et de \$200 pour le groupe électrogène; on a estimé à 100 par année le nombre d'heures de fonctionnement du groupe électrogène.

On n'a attribué ni handicap ni crédits au groupe électrogène puisqu'une fois installé, ce système ne subirait pas de modifications, même si on éliminait le système éolien. On a attribué au moteur une vie utile de 5 ans, un coût d'entretien annuel de \$1 000 (US), 8 760 heures de fonctionnement et une consommation moyenne de combustible de 0,38 l/h.

## EXPOSÉ DU PROJET DE CONSTRUCTION

Ellerbe Alaska a fait une étude des coûts pour déterminer la méthode la plus économique d'acheter et de livrer le matériel au village. Les possibilités suivantes ont été considérées :

- 1) Achat de tous les matériaux à Fairbanks — transport par avion jusqu'à Nome, par véhicule jusqu'à Council.
- 2) Achat de tous les matériaux à Seattle — transport par chaland jusqu'à Nome, par véhicule jusqu'à Council.
- 3) Achat de tous les matériaux à Seattle — transport par chaland et par véhicule jusqu'à Fairbanks où on procède à un inventaire, puis réemballage du tout pour l'expédier par avion jusqu'à Nome, puis par véhicule jusqu'à Council.

Remarque. — On ne pouvait expédier les matériaux par chaland d'Anchorage à Fairbanks s'ils ne transitaient à Seattle. Il n'y avait ni route ni chemin de fer entre Anchorage ou Fairbanks, et Nome.

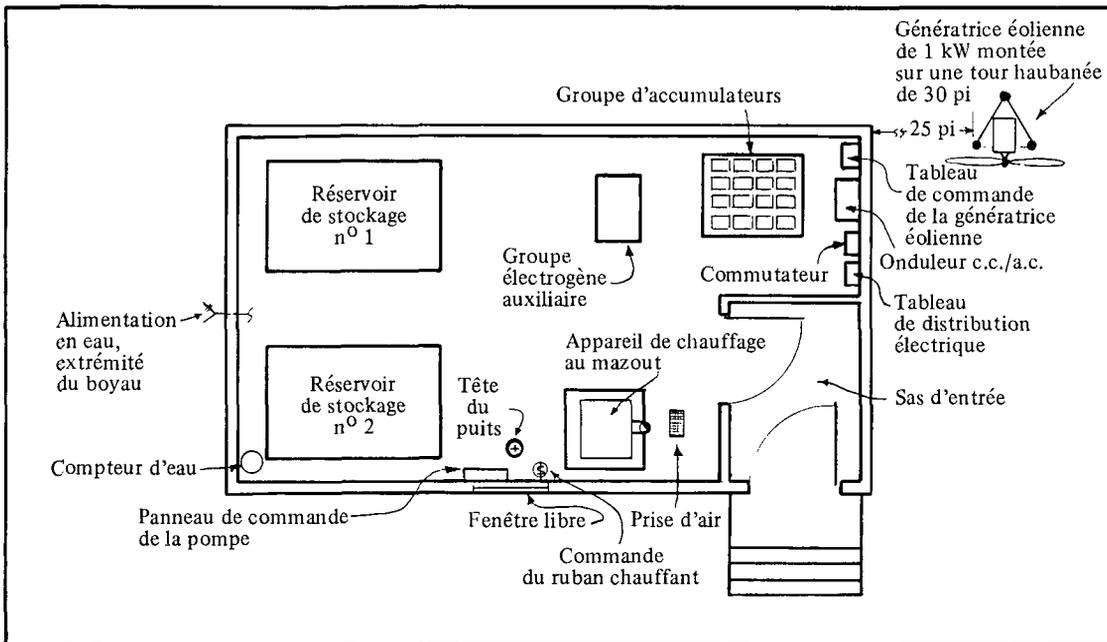


Figure 5 Plan au sol et disposition de l'équipement

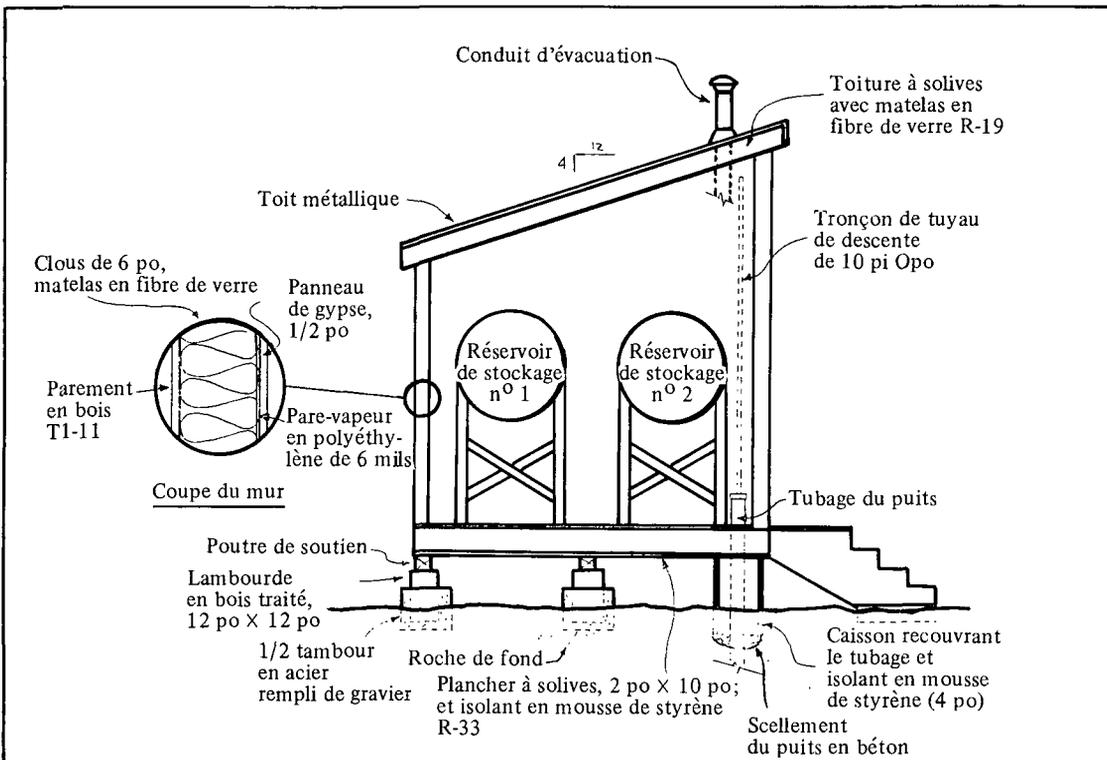


Figure 6 Coupe du bâtiment

Les méthodes n° 2 et n° 3 exigeaient qu'on ait recours aux services d'un achemineur de matériaux à Seattle, pour l'achat et l'envoi d'équipement. La méthode n° 1 semblait la plus coûteuse et a donc été rejetée. La méthode n° 2 semblait la moins coûteuse.

La méthode n° 3 a été retenue pour la raison suivante : il aurait été impossible de se procurer des matériaux à Council ou à Nome si certaines des pièces avaient manqué ou avaient été défectueuses. Le stockage des matériaux à Council, entre l'arrivée de l'équipement sur le chantier et le commencement de la construction, posait des problèmes de sécurité. Le fait qu'un grand nombre de personnes se rendent de Nome à Council régulièrement, tous les jours ou en fin de semaine, a lourdement pesé sur la décision.

Le choix de la méthode n° 3 s'est révélé judicieux quand on a fait l'inventaire à Fairbanks. Les problèmes ne venaient pas de matériaux perdus ou endommagés, mais d'articles non expédiés ou de substitutions inutilisables. Il a été difficile de calculer les coûts supplémentaires qu'ont entraîné l'expédition des matériaux manquants, le remplacement des mauvais matériaux et les retards de construction dûs aux attentes.

Tout compte fait, c'est la méthode n° 1, celle de l'achat local des matériaux, qui aurait coûté le moins cher.

La construction du bâtiment et des cabinets extérieurs s'est déroulée sans problèmes majeurs. Comme d'habitude, il en a été tout autrement pour le puits.

Le puits a été foré et tubé au moyen d'un appareil modifié de sondage sismique, que l'on s'était procuré à Nome. À cause de la légèreté de l'appareil, on a commencé par creuser un avant-trou de 10 cm, puis on a élargi la cavité jusqu'à 16,5 cm de diamètre pour introduire le tubage. On a utilisé des outils standards pour le forage dans la roche.

Le premier emplacement choisi se trouvait à côté du bâtiment communautaire existant. Le forage a été abandonné à 32 m, car on a rencontré à 1,5 m de profondeur une veine schisteuse compacte, qui est restée inchangée, sauf qu'elle était coupée de filons intermittents de quartz blanc massif. Le trou est resté sec, avec un excellent retour d'air, sur toute la profondeur forée.

Le deuxième site choisi était situé à l'ouest d'une ligne passant à travers l'escarpement éboulé et sous une source de la rivière, à 122 m à l'ouest du premier forage. Les travaux de forage ont été abandonnés à une profondeur de 16,8 m à cause d'éboulements de schiste fortement décomposé. Le retour d'air a été perdu à environ 6,4 m. La roche forée variait d'un schiste décomposé à un schiste fortement décomposé, avec des couches intermittentes de quartz fracturé. Il fallait tirer le trépan tous les 1,2 m environ pour nettoyer les déchets de forage. Le trou a été abandonné suite à un éboulement majeur, après lequel il a fallu 40 minutes d'efforts pour retirer le trépan.

Le troisième et dernier emplacement était situé à environ 21 m à l'est du deuxième trou, en direction de l'escarpement éboulé et de la source sous la rivière.

On a rencontré du schiste compact à 1 m de profondeur, et la roche est demeurée essentiellement inchangée jusqu'à la fin du forage, à l'exception de quelques veines intermittentes de schiste légèrement décomposé et de quartz fracturé. On a rencontré de l'eau à 1,2 m; l'avant-trou a été terminé à 16,8 m, puis repris avec un diamètre de 16,5 cm jusqu'à une profondeur de 16,1 m; à cette profondeur, le trépan a été bloqué par du quartz fracturé. Ensuite, on a enfoncé le tubage jusqu'à ce que ce dernier se bloque à une profondeur de 13,4 m, puis une crépine télescopique de 1,5 m à 60 fentes a été installée avec une rallonge de 1,5 m allant jusqu'au packer. La profondeur de fond de la crépine était de 15,8 m. Le puits a été développé à l'air, puis la pompe a été installée et la capacité a été vérifiée pendant 18 heures. Le débit du puits s'est établi à 11,7 l/mn, avec une hauteur de refoulement de 1,2 m.

Le scellement du puits a été enveloppé de sacs en polyéthylène et la construction du bâtiment a été planifiée. Les travaux de construction ont commencé deux semaines plus tard, dès que sont arrivés les matériaux en provenance de Fairbanks, via Nome. Cinq semaines plus tard, l'essentiel du projet était terminé. Les travaux de construction ont été réalisés par deux Inuit du village, supervisés par un employé d'Ellerbe Alaska.

## EXPLOITATION

On n'a rencontré que deux problèmes d'exploitation.

- 1) Perturbation dans la réception des signaux radioélectriques qui ont affecté les postes de radio AM dans un rayon de 45 m de l'onduleur. L'onduleur d'origine a été remplacé par l'unité décrite plus haut, qui est équipée d'un filtre anti-parasites.

- 2) Les accumulateurs n'acceptaient pas leur pleine charge, ceci parce qu'on ne chargeait pas à fond, individuellement, chacune des rangées avant de les brancher en parallèle. La génératrice éolienne et le chargeur de batterie n'étaient pas capables de développer une tension de charge suffisante pour égaliser toutes les cellules et rangées de batterie lorsque le groupe entier était branché. Pour égaliser les cellules et les rangées, on a chargé chaque rangée individuellement à un régime de charge rapide. On a ensuite rebranché les rangées en parallèle.

La génératrice éolienne et la tour ont, jusqu'à présent, résisté sans problème à trois blizzards, à une tempête de glace (pluie verglaçante) et à des vents de plus de 129 km/h.

#### **SUGGESTIONS POUR PROJETS FUTURS DU MÊME TYPE**

Les options suivantes seraient applicables aux installations futures du même genre :

- 1) Utiliser un système électrique de 24, 48 ou 110 V, c.c., et une pompe à jet avec moteur à courant continu pour le puits.
- 2) *Incorporer des cellules photovoltaïques solaires montées sur des concentrateurs non-orientables et non-convergens, pour charger les batteries pendant les périodes de calme ou de vents faibles au printemps, en été et en automne.*
- 3) Puisqu'un contrôle absolu de la température de l'installation ne revêt pas une importance critique, incorporer au système de chauffage du bâtiment des collecteurs solaires à air, de type actif-passif, avec stockage thermique. Il serait très facile d'intégrer cette option à celle du numéro 2 pour doubler l'emploi des concentrateurs et accroître ainsi les avantages économiques du système solaire.
- 4) Utiliser les options n<sup>os</sup> 1, 2 et 3, avec un stockage par batteries, pour les sites où les systèmes éoliens ne peuvent être appliqués.

#### **CONCLUSION**

Le projet que nous avons exposé montre jusqu'à présent que les systèmes éoliens constituent une option tout à fait valable en ce qui a trait aux groupes électrogènes diesel conventionnels, pour les villages isolés qui se trouvent dans les régions venteuses de l'Alaska. Toute la côte de l'Alaska, à partir de Demarcation Point, sur la mer de Beaufort, jusqu'à l'île Attu, dans les Aléutiennes, et jusqu'à Tongas (près de Prince Rupert en C.-B.) au sud, se prête à ce genre de projets.

## DEUXIÈME SÉANCE CONSIDÉRATIONS ÉNERGÉTIQUES

### UTILISATION DE L'EAU DE REFROIDISSEMENT D'UNE CENTRALE ÉLECTRIQUE AFIN DE CHAUFFER LE SOL

Terry McFadden et James Buska  
Alaskan Projects Office  
USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Fairbanks, Alaska

#### INTRODUCTION

La chaleur résiduelle de l'eau de refroidissement des centrales électriques reste généralement inutilisée car il est moins coûteux de la disperser que de la récupérer. Une centrale, même petite, dégage plusieurs millions de Btu/h, mais cette chaleur est d'une "qualité" si médiocre (température en dessous de 100 °F, soit 40 °C), qu'on la considère plutôt comme un déchet que comme une ressource, les utilisations rentables restant pratiquement introuvables.

Depuis deux ans, le Bureau des projets de l'Alaska (Alaskan Projects Office), rattaché au Cold Regions Research and Engineering Laboratory, cherche à employer la chaleur résiduelle pour réchauffer le sol. Le Bureau est aidé en cela par le Département d'horticulture de l'Université de l'Alaska. Employer la chaleur résiduelle pour améliorer les conditions de culture présente un certain intérêt économique, et il n'est pas impossible que l'eau de refroidissement rejetée par la centrale de Fort Wainwright soit bientôt classée comme ressource. Jusqu'à présent, cette eau dont la température varie de 10 ° à 38 °C (50 ° à 100 °F), n'a été d'aucun intérêt économique. Elle est évacuée vers un étang de refroidissement où la chaleur se dissipe dans l'atmosphère par rayonnement, convection et évaporation. L'échange de chaleur par évaporation présente un problème majeur pendant les mois d'hiver, car il produit un épais nuage de brouillard glacé, qui constitue un polluant affectant la visibilité dans l'air à proximité de l'étang et sur plusieurs kilomètres aux alentours. Actuellement, le projet en est au stade de l'exploitation et fournit des données d'étude. Les résultats de la première année indiquent que "l'énergie résiduelle peut, en réalité, servir des fins économiquement utiles, économiser de l'argent et du combustible, tout en améliorant la productivité agricole locale.

On sait depuis un certain nombre d'années déjà qu'il est possible d'améliorer les conditions de culture en chauffant le sol. Ralston (1970) et Boersma (1970) ont démontré que l'on pouvait utiliser les effluents thermiques à des fins pratiques. Allred (1975) a essayé de faire usage d'un effluent de centrale simulé pour améliorer les récoltes de pommes de terre dans le Minnesota, mais il conclut que les pommes de terre ne constituent pas une culture optimale. Johnson (1973) a découvert qu'il était possible d'accroître la production horticole en utilisant dans des serres la chaleur résiduelle. Enfin, Rykbost et coll. (1975) ont simulé la récupération de chaleur résiduelle au moyen de câbles chauffants souterrains, et ils sont parvenus à obtenir de meilleures récoltes de légumes. Toutefois, le potentiel que présente cette technique pour la culture dans le Nord n'a été pleinement reconnu qu'avec l'étude de Dinkel (1977). En effet, Dinkel souligne que la saison réelle de culture est virtuellement plus longue dans le Nord que dans les régions plus au sud, vu la longueur des jours au printemps et en été.

Si les jours sont longs dans le Grand Nord à cette époque de l'année, la saison des cultures n'en est pas moins sérieusement restreinte à cause des basses températures du sol. Bien que la lumière soit suffisante dès les mois de mars (12 heures d'ensoleillement par jour le 21 mars), les températures du sol ne permettent pas de semer avant la fin mai ou le début de juin. Dès les nuits froides de la fin août, la température retombe au-dessous des niveaux admissibles pour la culture, et pourtant la lumière du jour est encore suffisante jusqu'en octobre.

Pour prolonger la saison des cultures et accroître la variété des produits, il faut donc hausser la température du sol. Des succès significatifs ont déjà été obtenus en couvrant le sol de feuilles de polyéthylène transparent (Dinkel, 1966). Le principe est celui de l'effet de serre : la couverture de polyéthylène transparent crée une serre miniature qui protège le sol. Pourtant, il faut réchauffer davantage le sol si l'on veut tirer pleinement parti du potentiel des terres agricoles. Pour les cultures de saisons chaudes, des températures de 27 à 38 °C (80 à 100 °F), sont souhaitables au niveau des racines (à une profondeur de 6 po ou 15 cm). C'est là l'occasion idéale d'utiliser la chaleur contenue dans l'eau de refroidissement des centrales. Étant donné que la température de l'eau de refroidissement varie généralement en fonction de la saison, l'eau est plus chaude en été, lorsque le besoin de

chaleur est essentiel. L'eau de refroidissement, plus froide en hiver, peut alors servir à constituer une réserve thermique dans le sol. La chaleur transférée aux deux parcelles expérimentales maintient le sol à une température considérablement plus élevée que celle du terrain témoin situé à proximité. Le sol étant plus chaud, on peut faire pousser diverses cultures de saison chaude qu'il est normalement impossible de cultiver en Alaska. On peut également augmenter le rendement des cultures habituelles, et ce pour deux raisons : croissance plus rapide des plants et possibilité d'obtenir une deuxième récolte durant une saison normalement trop courte. Les questions de génie et d'échange de chaleur sont étudiées par l'Alaskan Projects Office. Tous les aspects agricoles du programme sont analysés par le Département d'horticulture de l'université de l'Alaska, sous la direction du Dr D. Dinkel. La collaboration entre les deux organismes présente de nombreux avantages. Les équipes se communiquent les données obtenues, ce qui facilite les recherches des deux côtés, sans qu'un groupe ou l'autre soit obligé de prendre en charge les frais de son collaborateur.

La technique utilisée a l'avantage de dissiper la chaleur dans un système fermé tout en empêchant l'évaporation, ce qui élimine le problème du brouillard glacé pendant les mois d'hiver.

### DESCRIPTION DU PROJET

Le but du projet était de dévier l'eau de refroidissement de la centrale électrique, à raison de 2 000 gallons (7,6 m<sup>3</sup>) par minute, pour la faire circuler dans deux parcelles chauffées adjacentes à l'étang de refroidissement, puis de rejeter l'eau usée dans celui-ci.

On a préparé trois parcelles de terrain, dont deux avec canalisations souterraines de chauffage et une sans canalisation (parcelle témoin). Les trois terrains ont chacun 50 pi de largeur et 100 pi de longueur (15,2 m X 30,5 m). Les parcelles d'essais sont chauffées par des tuyaux en polyéthylène de 1,25 po de diamètre, enfouis à une profondeur de 24 po (63,5 cm), avec un entr'axe de 32 po (81 cm). (Voir la figure 1.)

On savait que les caractéristiques thermiques des tuyaux en polyéthylène n'étaient pas optimales. On a pourtant retenu ce matériau en raison des contraintes budgétaires.

On a utilisé des conduites d'irrigation en aluminium, isolées, pour acheminer vers les terrains l'eau provenant de la station de pompage.

Un jeu de thermocouples a été installé dans chaque parcelle, tel qu'indiqué à la figure 2.

La température de l'eau a été mesurée à l'entrée et à la sortie des parcelles; le débit a été mesuré dans l'une des canalisations souterraines de chaque parcelle, ainsi qu'à la sortie de la pompe.

La profondeur des conduites a été déterminée de façon qu'on puisse creuser au motoculteur les sillons les plus profonds, sans endommager la tuyauterie.

On a utilisé une pompe centrifuge de 6 po (15,2 cm), entraînée par un moteur électrique de 50 hp. Le débit de cette pompe était d'environ 800 gal/mn (0,05 m<sup>2</sup>/s) à une hauteur de refoulement de 138 pi (42 061 kg/m<sup>2</sup>). Cette capacité était bien inférieure à ce qui avait été prévu à l'étape de la conception, mais les contraintes budgétaires ont primé une fois de plus.

L'exutoire était immergé dans l'étang afin de minimiser les problèmes d'éclaboussures ou de dérive, qui auraient pu entraîner la formation d'un brouillard glacé en hiver.

On a commencé à faire circuler de l'eau à une température de 13,6 °C (56,5 °F) dans la parcelle n° 1, le 19 janvier 1978. Le 11 avril 1978, on a dirigé de l'eau tiède à 24,1 °C (75,4 °F) vers la parcelle n° 2.

On a semencé la parcelle n° 1 le 18 avril afin de vérifier la prolongation de la saison et la possibilité d'une double récolte. On a semencé la parcelle n° 2 et la parcelle témoin le 15 mai (date approximative de l'ensemencement habituel dans cette région).

### RÉSULTATS OBTENUS

**Parcelle témoin.** — La température de la parcelle témoin a subi les effets modérateurs d'une réserve de chaleur inexploquée<sup>1</sup>, qui ne se sont pas fait sentir dans les deux parcelles expérimentales. On a rassemblé des données pendant une période de 169 jours en automne et en hiver 1977, avant de commencer à faire circuler l'eau chaude

<sup>1</sup> Cette situation était peut-être due à une liaison thermique plus étroite au niveau de la nappe phréatique, mais on n'a pas procédé à une vérification.

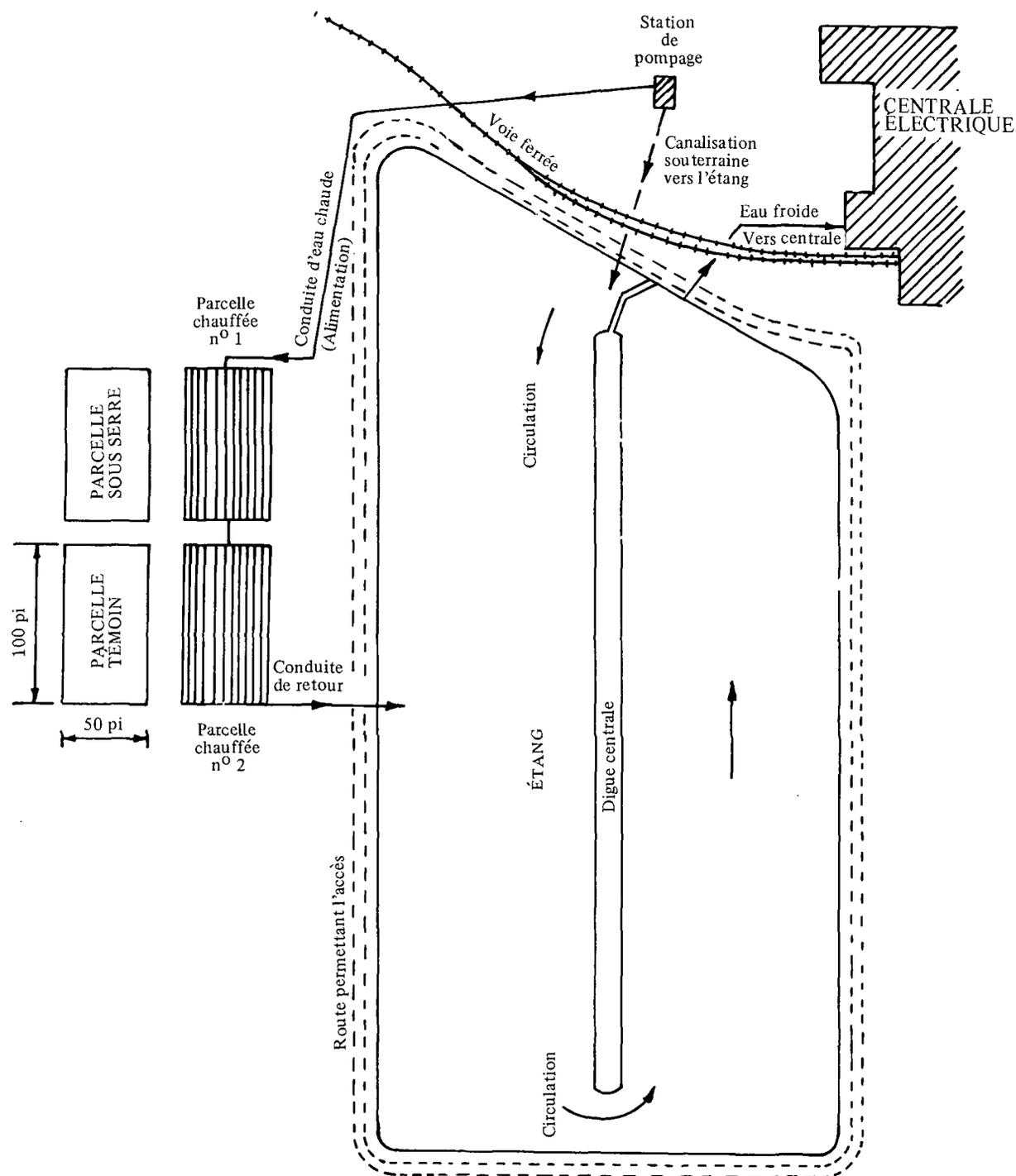


Figure 1 Chauffage du sol; parcelles d'expérimentation à Fairbanks (Alaska)

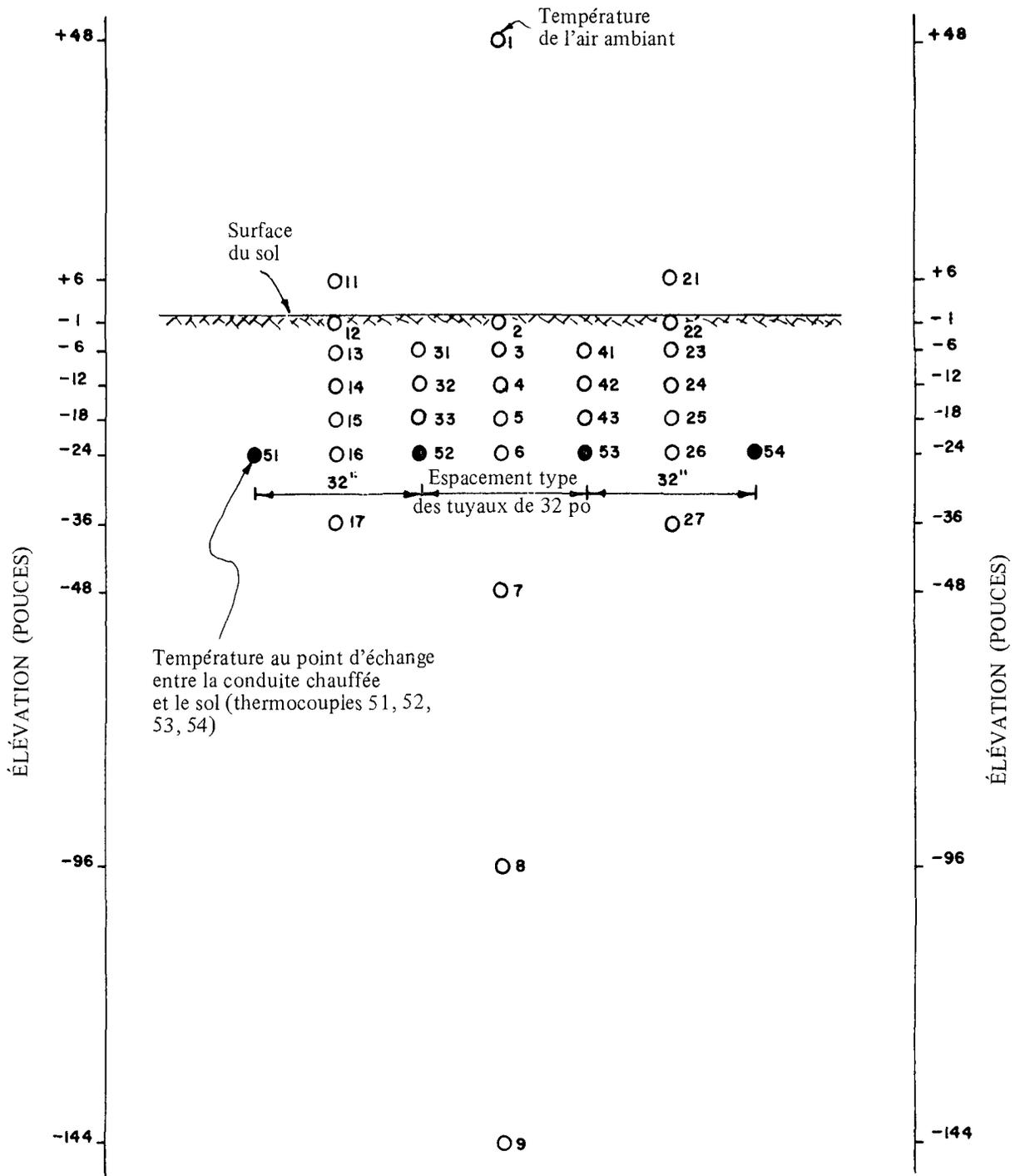


Figure 2 Jeu de thermocouples; parcelles n° 1 et n° 2\*  
 (\* La parcelle témoin n° 2 est dotée des thermocouples 1 à 9 seulement.)

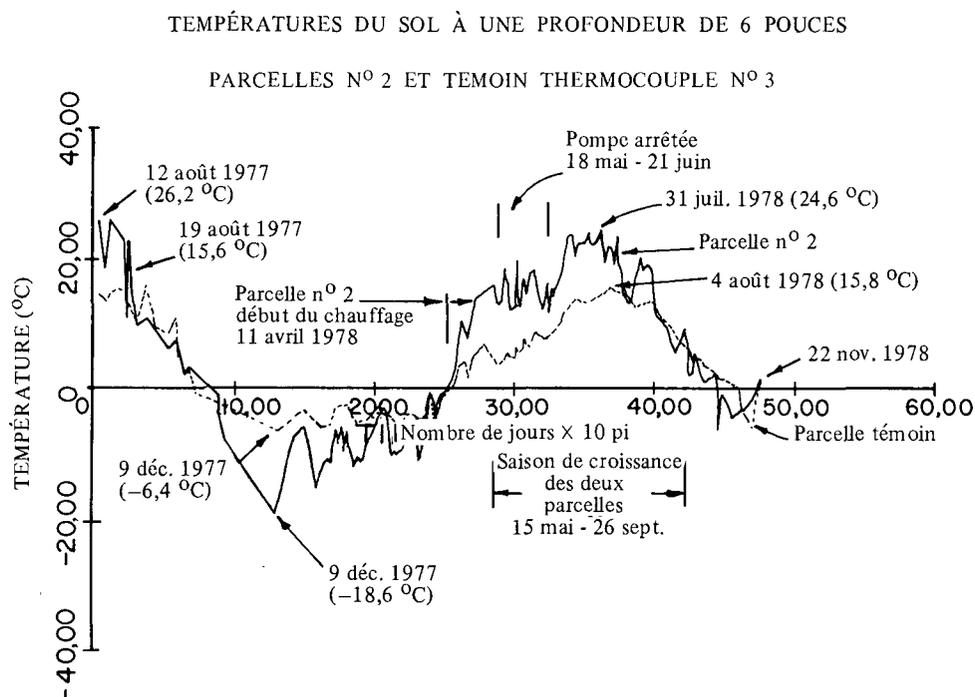
dans les réseaux de canalisations. On a constaté qu'à une profondeur de 6 po (15 cm), la température hivernale du sol de la parcelle témoin était plus élevée que celle des deux parcelles devant être chauffées (figure 3). La température moyenne de la parcelle témoin était supérieure de 2,0 °C (3,6 °F), à celle de la parcelle n° 2. Cependant, dès qu'on a fait circuler de l'eau tiède dans les canalisations, les températures des parcelles chauffées ont atteint des niveaux nettement plus hauts, quelle que soit la profondeur du sol; elles sont demeurées plus élevées pendant toute la saison des cultures. Malheureusement, il n'a pas été possible de déterminer si les effets modérateurs dans la parcelle témoin ont persisté pendant tout l'été, modifiant l'évaluation de la quantité de chaleur ajoutée aux parcelles chauffées. S'il y a eu erreur, c'est une erreur de sous-estimation (on aura apporté au sol plus de chaleur que ne l'indiquent les résultats).

**Chaleur ajoutée au sol.** — L'énergie thermique ajoutée au sol peut se mesurer en degrés-jours. En intégrant la zone entre l'histogramme de température de la parcelle n° 2 et celui de la parcelle témoin, on trouve 1 062 degrés-jours de chauffage à une profondeur de 6 po (15 cm) :

$$E_{DD} = \int_{t_1}^{t_2} (T_2 - T_c) dt \quad (1)$$

où  $E_{DD}$  = apport d'énergie en degrés-jours,  
 $T_2$  = température de la parcelle chauffée (°C),  
 $T_c$  = température de la parcelle témoin (°C),  
 $t$  = temps (jours).

On peut considérer que l'apport d'énergie thermique équivaut à déplacer la parcelle de Fairbanks (latitude 64°, indice de dégel en surface, 3 000), vers le sud de l'Alberta (latitude 52°, indice de dégel en surface, 4 100), ce qui la situerait à près de 1 000 milles plus au sud. Cependant, on a constaté que la baisse de température entre le tuyau de chauffage et le niveau des racines atteignait jusqu'à 10,4 °C (50,7 °C), d'où l'on a déduit le besoin de



canalisations plus profondes et moins espacées. La baisse de température entre l'eau d'une part et le sol à une profondeur de 6 pi (15 cm) d'autre part, était en moyenne de 14,3 °C (57,5 °F). Il est donc clair qu'il faut rapprocher les canalisations de la zone des racines.

Ceci dit, la profondeur des tuyaux présentait l'avantage de permettre une meilleure réserve thermique. Les canalisations ont chauffé une masse de terre plus importante, constituant une réserve de chaleur considérable. On a tiré profit de cet avantage lorsqu'une défaillance mécanique de la pompe de circulation s'est produite, le 18 mai 1978, ce qui a empêché la circulation de l'eau pendant un mois. (Voir figure 3.) Les températures aux profondeurs de 12 pi et de 6 pi (3,7 m et 1,8 m), étaient de 5,3 °C (41,5 °F) et 6,4 °C (43,5 °F), contre 3,9 °C (39 °F) et 1,8 °C (35,2 °F) pour les mêmes profondeurs dans la parcelle témoin, ce qui indique une action thermique à des profondeurs considérables. Au niveau des racines (6 pi ou 15 cm), les températures de la parcelle n° 2 étaient de 12,8 °C (55 °F) comparativement à 3,7 °C (38,7 °F) dans la parcelle témoin; au niveau des canalisations, les températures étaient de 17,5 °C (63,5 °F) dans la parcelle n° 2 mais de 0 °C (32 °F) dans la parcelle témoin.

Lorsqu'on a remis les pompes en marche, le 21 juin, la température à 8 pi (2,6 m) de profondeur avait augmenté de 4,2 °C (7,6 °F), pour atteindre 10,6 °C (51,1 °F). Par contre, la température à la même profondeur dans la parcelle témoin n'avait augmenté que de 0,4 °C (0,72 °F). Au niveau des canalisations (2 pi ou 0,7 m), la température était toujours supérieure de 8,8 °C (15,8 °F) à celle de la parcelle témoin; au niveau des racines, elle était supérieure de 7,6 °C (13,7 °F) à celle de la parcelle témoin. Bien que les températures du sol n'aient pas augmenté autant que souhaité pendant cette période, la chaleur emmagasinée dans les parcelles a eu une influence modératrice considérable.

Pour évaluer la performance du système de chauffage et étudier la possibilité de semences précoces, on a commencé à chauffer la parcelle n° 1 le 19 janvier 1978. La température du sol dans cette parcelle a augmenté immédiatement, mais l'isotherme de 0 °C n'a pas atteint la surface avant le 12 avril. Les températures étaient suffisamment élevées pour les premières semences dès le 18 avril (zone de racines; 4,3 °C ou 39,7 °F), soit 27 jours avant qu'on puisse ensemençer la parcelle témoin en toute sécurité.

**Stockage de chaleur en hiver.** – Pendant l'hiver 1978-79, on a fait circuler de l'eau en permanence pour évaluer les effets d'un stockage maximal de chaleur et pour déceler tout problème d'exploitation qui pourrait se produire pendant les mois hivernaux. Les températures d'hiver à 4 pi (1,2 m) de profondeur sont restées supérieures de 6,3 °C (11,3 °F) en moyenne à celles de la parcelle témoin, alors qu'elles descendaient jusqu'à 2,6 °C (4,7 °F) en-dessous du niveau de la parcelle témoin en l'absence de tout chauffage – ce qui indique une amélioration très nette. Il serait difficile d'évaluer précisément l'importance de la réserve thermique sans endommager les parcelles. Toutefois, des thermocouples situés à une profondeur de 12 pi (3,7 m) ont montré que les canalisations de chauffage, posées à 10 pi (3,1 m) au-dessus d'eux, avaient un effet prononcé sur la température du sol.

La figure 4 illustre une baisse de température en fonction de la profondeur dans la parcelle témoin et la parcelle n° 2, le 20 février 1979. L'extrapolation des courbes montre que l'effet des canalisations de chauffage devient négligeable à partir d'une profondeur de 33 pi (10 m). Ceci semble indiquer que la présente réserve

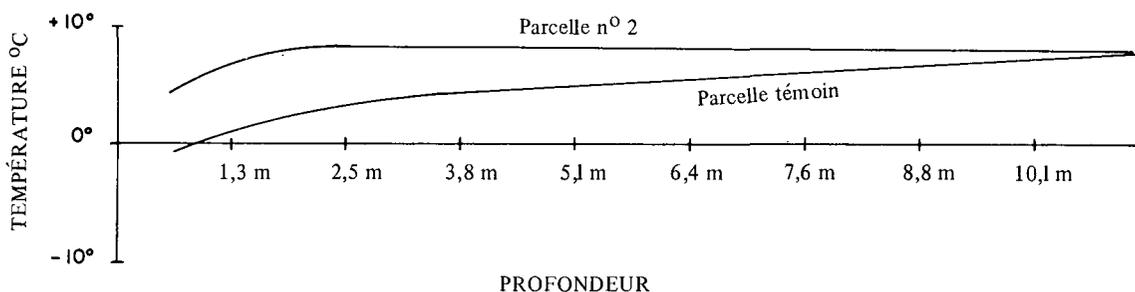


Figure 4 Température en fonction de la profondeur : 20 février 1979

thermique couvre environ 80 pi de large  $\times$  130 pi de long  $\times$  33 pi de profondeur (24 m  $\times$  40 m  $\times$  10 m), ce qui représente un volume de  $3,2 \times 10^5$  pi<sup>3</sup> ( $9,6 \times 10^3$  m<sup>3</sup>). L'aire entre les deux courbes correspond à l'élévation de température de la masse chauffée. L'intégration de cette aire permet d'évaluer la quantité d'énergie emmagasinée. La température moyenne intégrée et pondérée est de 5,8 °F (3,2 °C). Ceci indique une réserve d'énergie de  $54,9 \times 10^6$  Btu ( $16,1 \times 10^3$  kWh) pour chacune des parcelles, qui sont faites d'un limon vaseux de Fairbanks avec une teneur en humidité de 18 p. cent et une chaleur propre de 0,175 (Kersten 1949).

La figure 5 montre le tracé de la température du sol à une profondeur de 12 pi (4 m). Bien que la courbe soit cyclique, son axe semble présenter une pente positive, indiquant que le système n'avait pas encore atteint le point d'équilibre avec le milieu le 20 février 1979. Il s'ensuit que la valeur d'équilibre du stockage thermique sera un peu plus importante que ne l'indiquent les précédents calculs.

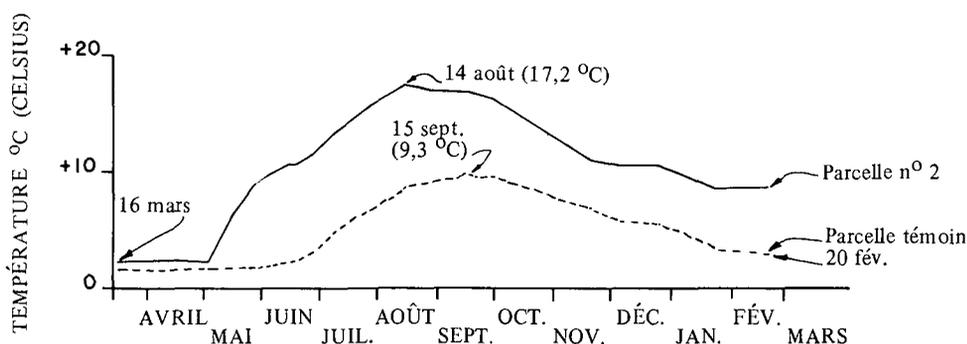


Figure 5 Températures du sol à 2,7 m de profondeur

**Progrès agricoles.** — Comparer les récoltes des parcelles chauffées à celles de la parcelle témoin est encore le meilleur moyen de mesurer la valeur réelle du chauffage du sol pour l'amélioration des conditions agricoles. Le présent document ne traite pas en détail des expériences agricoles qui ont été menées sous la direction du D<sup>r</sup> D. Dinkel, du Département d'horticulture de l'université de l'Alaska. Ces expériences sont exposées dans Dinkel et coll. (1979), dont on a extrait le tableau I. Ce tableau indique que la productivité des parcelles chauffées était supérieure à celle de la parcelle témoin (figures 6 et 7) pour toutes les cultures, à l'exception d'une espèce de laitue. Dans le cas du maïs cultivé sans couverture de plastique, les plants ne sont pas arrivés à maturité dans la parcelle non chauffée. On a obtenu des hausses de productivité allant jusqu'à 425 p. cent avec les cultures marginales; avec les produits qui se cultivent normalement très bien dans le Nord (courgettes et brocoli), on a obtenu un rendement 1,51 fois supérieur à celui de la parcelle non chauffée. L'augmentation moyenne était de 1,86 pour ce groupe de cultures. En choisissant les cultures qui profitent au mieux du chauffage, un cultivateur peut facilement doubler le rendement de ses terres s'il chauffe le sol. Un sol plus chaud, conjugué à une saison prolongée de cultures, permet de cultiver des produits agricoles qui ne pourraient normalement croître qu'en serre en Alaska.



Figure 6    Maïs cultivé dans une parcelle chauffée



Figure 7    Maïs cultivé dans la parcelle témoin

Tableau I Comparaison du rendement des parcelles chauffées et non chauffées (cultivées du 9 mai au 6 juin 1978)

Variété	Parcelles chauffées (lb/100 pi) rang	Parcelles non chauffées (lb/100 pi) rang	Rapport du rendement des parcelles
Maïs Earlivee, avec plastique protecteur	170	40*	4,25*
Maïs Earlivee, sans plastique protecteur	22	0	
Brocoli Green Duke (repiqué)	178	118	1,51
Chou-fleur Snow Crown (repiqué)	138	92	1,50
Laitue Minilake (semée)	133	155	0,86
Laitue Ostinata (semée)	126	108	1,17
Épinards Melody	163	91	1,79
Haricots Provider	224	105	2,13
Pois Green Arrow (lit de 3 pi de large)	230	110	2,09
Courgettes Elite	1 400	998	1,40
*Pertes dues au vol Dinkel et coll., 1978		Augmentation moyenne	1,86

**Réduction du brouillard glacé.** — Un avantage reste à évaluer : la réduction du brouillard glacé, suite à l'élimination des pertes de chaleur dues à l'évaporation à la surface de l'étang de refroidissement. On peut calculer la dispersion de la chaleur à l'état d'équilibre provenant d'un réseau de canalisations souterraines, en appliquant la formule suivante (Kendrick et Havens, 1973).

$$Q = \frac{2\pi K \Delta T}{\ln \frac{(2D - d)}{d} + \frac{N}{n-1} \ln \left[ \frac{(nS)^2 - (D-d)^2}{(nS)^2 + d^2} \right]} \quad (2)$$

- où :
- Q = pertes de chaleur par unité de longueur (W/cm),
  - d = diamètre du tuyau (cm),
  - D = profondeur du tuyau dans le sol (cm),
  - S = espacement entre tuyaux parallèles (cm),
  - K = conductivité thermique (W/m °C), (variant de 0,15 à 2,35 W/m °C, Kersten, 1949),
  - ΔT = différence de température entre la source de chaleur et la surface du sol (°C),
  - n = nombre de tuyaux parallèles, de part et d'autre de la conduite centrale.

La figure 8 indique la chaleur dispersée par rapport à la différence de température entre l'eau tiède et la surface du sol, pour trois niveaux de conductivité thermique. Pour satisfaire aux besoins de refroidissement de la centrale électrique, il faut une baisse de température de 5,6 °C (10 °F) à un débit approximatif de 6 000 gal/mn (0,38 m<sup>3</sup>/s). Ceci signifie que, pour éliminer l'étang de refroidissement pendant les mois d'hiver<sup>2</sup>, un réseau de chauffage de ce genre devrait pouvoir disperser 8,8 × 10<sup>3</sup> kW. Si la différence de température entre l'eau et la surface du sol était de 30 °C (54 °F), (conditions hivernales communes en Alaska : T<sub>eau</sub> = 20 °C et T<sub>surface</sub> = -10 °C), il faudrait un réseau de 5,0 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> (1 230 acres), pour disperser une telle charge. L'investissement, alors beaucoup trop important, ne pourrait se justifier s'il s'agissait simplement d'éliminer le brouillard glacé. Toutefois, si on pouvait utiliser ces 1 230 acres chauffés pour obtenir une double récolte agricole, le gain par rapport à l'investissement serait attrayant. Un système mixte de ce type permettrait d'utiliser la chaleur résiduelle en vue de ramener à un niveau négligeable la pollution du brouillard glacé et d'augmenter la productivité agricole.

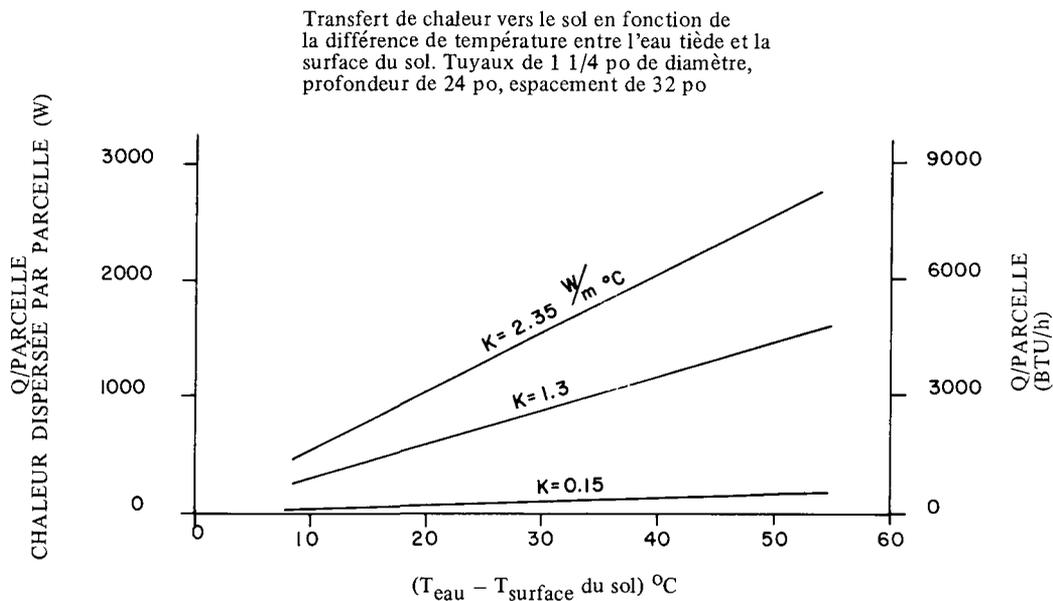


Figure 8 Chaleur transmise au sol

## CONCLUSION

Les latitudes du Grand Nord sont tout particulièrement indiquées pour tirer profit du chauffage du sol. Les longues journées, conjuguées à des températures plus élevées du sol, offrent un double avantage qu'on ne trouve nulle part ailleurs.

Pour des produits cultivés comme le maïs, la hausse de rendement peut atteindre jusqu'à 425 p. cent. Plusieurs récoltes sont possibles au cours d'une même saison de culture.

Pour ce genre de projet, il est souhaitable d'étudier l'espacement et la profondeur des canalisations de façon à optimiser les résultats lorsque la température de l'eau est inférieure à 100 °F (38 °C).

Si l'aire de culture est assez grande pour répondre à tous les besoins de refroidissement de la centrale électrique, un système de chauffage du sol en réseau fermé peut donner l'avantage supplémentaire d'éliminer le brouillard glacé.

<sup>2</sup> L'étang resterait nécessaire pendant l'été, pour les besoins de refroidissement supplémentaires.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allred, Evan R., "Use of Waste Heat for Soil Warming and Irrigation", *Proceedings of ASCE. Irrigation and Drainage Division Specialty Conference*, 13-15 août 1975.
- Boersma, L.L., "Nuclear Waste Heat Could Turn Fields into Hot Beds", *Crops and Soils*, 22, (7), 1970.
- Bregman, J.I., "Useful Energy from Unwanted Heat", *Chemical Engineering*, 78, (2) : 83-87, janv., 1971.
- Dinkel, D.H., "Waste Heat Utilization in Northern Latitudes for Greenhouse and Soil Heating", *Proceedings of International Symposium on Controlled Environment Agriculture*, Tucson, Arizona, 7 et 9 avril 1977.
- Dinkel, D.H., "Polyethylene mulches for sweet corn in northern latitudes", *Proc. American Soc. of Horticultural Science* 89 : 497-503, 1966.
- Dinkel, D.H., "The advantage of the northern latitudes for the utilization of waste heat for greenhouse and soil warming", *Proceedings of Symposium on More Profitable Use of Energy in Protected Cultivation*, International Society for Horticultural Science, Suède, 22-26 août 1977.
- Dinkel D.H., L.M. Ginston et P.J. Wagner, "Cool Heads and Warm Feet", *Agroborealis*, 11, (1), janv. 1979.
- Johnson, C.R., "Heated Effluent From Generating Stations as a Potential Benefit to Greenhouse Growers", *Florists Review*, 3 mai 1973.
- Johnson, P.R. et C.W. Hartman, *Environmental Atlas of Alaska*, Institute of Arctic Environmental Engineering, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, 1969.
- Kendrick, J.H. et J.A. Havens, "Heat Transfer Model for a Subsurface Water Pipe Soil Warming System", *Journal of Environmental Quality*, 2:188-197, 1973.
- Kersten, *Thermal Properties of Soils, Report of Engineering Experiment Station*, University of Minnesota, St. Paul, Minn., juin 1949.
- Ralston, D.R., "Utilization of Hot Ground Water in Emore and Owyhee Counties, Idaho", *Transactions of the Thermal Effluents Information Mtg.*, Idaho Nuclear Energy Commission, Boise, Idaho, 9 juil. 1970.
- Rykbost, K.A., L. Boersma, H.J. Mack et W.E. Schmusseur, "Yield Response to Soil Warming : Vegetable Crops", *Agronomy Journal*, 67, nov. 1975.

TROISIÈME SÉANCE  
APPLICATIONS TECHNIQUES

TECHNIQUES PROPRES À L'APPROVISIONNEMENT EN EAU  
ET À L'AMÉNAGEMENT SANITAIRE DES LOCALITÉS DU NORD

M.G. McGarry

Directeur associé, Division des sciences de la santé  
Centre international de recherche et de développement, Ottawa

T. Jackson

Responsable de projets  
Conseil international pour l'éducation des adultes, Toronto

W. Rybczynski

Professeur associé, École d'architecture  
Université McGill, Montréal

A.V. Whyte

Professeur associé, Institut des études sur l'environnement  
Université de Toronto

A.P. Zimmerman

Professeur adjoint, Département de zoologie  
Université de Toronto

De nos jours, environ 1 230 millions de personnes ne disposent pas de services adéquats d'approvisionnement en eau et environ 1 350 millions de personnes vivent dans des conditions sanitaires inacceptables. Pour remédier à cette situation déplorable, les Nations unies ont déclaré que la décennie 1980-1990 serait celle de l'approvisionnement en eau et de l'aménagement sanitaire. L'organisme propose de remédier au problème au cours des dix prochaines années, grâce à des programmes nationaux appuyés par une aide internationale. L'alimentation en eau et l'aménagement d'installations sanitaires sont des éléments essentiels pour la santé publique, et le manque de services adéquats ne se limite pas au Tiers Monde. La plupart des Amérindiens qui vivent dans le Nord du Canada en sont encore réduits à se servir de seaux pour aller chercher de l'eau en été, et à casser des blocs de glace en hiver. Le projet de l'ONU pour une décennie d'efforts en matière d'approvisionnement en eau et d'aménagement sanitaire concerne donc ces populations autochtones. Cette étude traite de certains des problèmes auxquels on doit faire face pour aménager la région subarctique du Grand Nord canadien et la doter de services d'eau et d'égouts. Elle souligne particulièrement les points suivants : a) la recherche de techniques appropriées, d'un coût plus modéré; b) la similitude entre les programmes d'aide internationale aux pays en voie de développement et les programmes de subventions gouvernementales accordées aux collectivités amérindiennes du Nord; c) les problèmes d'échanges techniques entre le Sud et le Nord; d) l'exemple de participation communautaire dans la conception d'un service d'eau et d'égout à Big Trout Lake (Ontario).

**POURQUOI UN SERVICE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET D'ÉVACUATION SANITAIRE?**

Trouver les solutions d'un problème implique qu'on ait d'abord bien compris la situation. Les niveaux inadéquats de santé publique sont de loin la raison la plus fréquemment invoquée quand il s'agit d'investir dans des installations d'approvisionnement en eau et d'évacuation sanitaire. Cependant, les ingénieurs connaissent en général peu – voire pas du tout – les questions sanitaires qu'ils essayent de résoudre. Or, les interventions au niveau sanitaire doivent se faire en fonction des maladies, de leurs voies de propagation, des pratiques d'hygiène existantes et des normes socio-économiques de la collectivité. Trop souvent, les ingénieurs s'appuient sur des concepts standards, courants dans le Sud, pour concevoir des systèmes d'approvisionnement en eau destinés au Nord – sans réaliser qu'une fois installés ces systèmes présentent des avantages limités, à moins d'une amélioration concomitante des systèmes de collecte des eaux-vannes et des déchets solides.

Dans le Tiers Monde, l'approvisionnement en eau vise souvent à économiser le travail. Ce concept est valable dans les pays où la saison sèche est longue, où les femmes et les enfants doivent faire plusieurs milles à pied chaque jour pour aller chercher de l'eau à des sources éloignées. Dans certains cas, lorsque le temps est employé d'une manière plus productive, il est possible de calculer un gain en numéraire sur l'investissement pour un système d'approvisionnement en eau. En ce qui concerne le Nord canadien, l'économie de temps revêt moins d'importance, puisque les sources d'eau intarissables sont en général beaucoup plus proches des collectivités.

Les installations qui permettent une élimination adéquate des matières fécales (systèmes de tout-à-l'égout par exemple), sont souvent construites par souci de protéger le milieu ambiant. Là encore, il faut connaître exactement la nature des problèmes liés à l'environnement pour améliorer la situation. Les avantages retirés d'investissements importants dans un système d'égouts, construit pour améliorer l'aspect esthétique ou la qualité du milieu ambiant d'une collectivité, peuvent être réduits à néant si les détritiques sont rejetés dans le plan d'eau le plus proche.

Aux yeux des Amérindiens, c'est le plus souvent l'aspect pratique qui prime quand ils considèrent la possibilité d'améliorer le service d'eau et d'égout. Faciliter l'accès aux installations importe avant tout; les questions de santé, d'environnement et même les considérations politiques sont secondaires. Il est donc surprenant que les Amérindiens soient rarement — pour ne pas dire jamais — consultés au moment de la planification et de la prise de décisions. Pourtant, les investissements sont faits à leur intention. Trop souvent, les décisions sur le niveau des services à offrir sont prises pour la collectivité amérindienne, mais non par elle. On institue des normes élevées et on conçoit des systèmes complets d'eau et d'égout, tout cela pour découvrir que la collectivité n'est pas en mesure de payer et que le gouvernement n'est pas disposé à subventionner les installations. Il existe des solutions moins coûteuses, des techniques intermédiaires entre la fosse d'aisances et le système du tout-à-l'égout, entre le simple seau et une installation complète de plomberie.

### QUALITÉ DES SERVICES

La plupart des collectivités qui disposent de revenus modestes n'emploient pas des techniques uniformes pour assurer à l'ensemble de leurs habitants les services d'eau et d'égout. L'eau est acheminée vers les maisons de diverses façons : blocs de glace, seaux d'eau puisée à même la rivière ou le lac, eau pompée à la main ou distribuée en un point central, réseau de canalisations auquel est relié un robinet installé dans la maison ou un système complet de plomberie, ou l'eau peut être livrée à domicile par camion-citerne. Les matières fécales sont rejetées dans des fosses ou collectées par le réseau d'égouts ou le service de ramassage par véhicule. Le processus de développement est dynamique. Ainsi, il est courant que trois ou quatre de ces techniques soient appliquées en même temps. Des améliorations sont entreprises à mesure que la collectivité progresse et que les fonds sont plus facilement disponibles. Les sources d'eau en surface sont remplacées par des pompes à main, puis éventuellement par un réseau de canalisations ou un système de transport par véhicule.

Il incombe donc aux ingénieurs d'établir le niveau de service susceptible de favoriser un rendement maximal du capital investi, qui doit être financièrement acceptable pour la collectivité et le gouvernement. Il existe d'autres possibilités de placement du capital, qui sont peut-être plus avantageuses. Quand on décide d'allouer des fonds pour l'aménagement des services d'eau et d'égout, c'est parce qu'on présume qu'ils seront mieux employés à cette fin qu'à toute autre. Envisagé dans cette optique (c'est-à-dire l'opportunité d'engager des frais), un investissement excessif est tout aussi regrettable qu'un engagement trop mitigé. De même, une conception trop poussée des installations épuise au bénéfice de quelques-uns les fonds qui pourraient être employés pour un groupe plus nombreux de population. Adopter des normes trop élevées pour la conception et la construction revient en effet à limiter le nombre d'usagers qui peuvent profiter des fonds disponibles. Pire encore, cela peut obliger les habitants à remettre à plus tard la construction, les contraignant à attendre jusqu'à ce qu'ils aient les moyens de financer le projet (soit une vingtaine d'années dans certains cas).

Le choix de la qualité de l'eau illustre bien les points que nous venons de préciser. L'Organisation mondiale de la Santé et le gouvernement fédéral recommandent d'appliquer pour l'eau potable un critère qualitatif qu'il est souvent impossible de respecter, tant techniquement qu'économiquement, dans le contexte d'une collectivité à faibles revenus. Voici un exemple. Si on se propose de limiter les maladies entériques, il faut évaluer la qualité de l'eau en fonction de porteurs de maladie comme les colibacilles. Dans ce cas, il est absurde de remettre à plus tard le projet d'aménagement sanitaire si l'eau a une couleur douteuse ou une turbidité excessive, et si la collectivité ne peut ni construire ni entretenir une usine de traitement des eaux usées qui résoudrait ces problèmes.

Autre exemple : il est préférable d'opter pour des solutions intermédiaires, moins coûteuses, et d'amener l'eau à proximité des maisons (pompes à main ou distribution en un point unique), que d'attendre jusqu'à ce qu'on puisse se permettre d'installer un système complet de distribution d'eau et de collecte des eaux usées par canalisations.

Il n'est pas difficile de choisir le niveau de service approprié en fonction de considérations pratiques et des possibilités financières d'une collectivité si celle-ci est invitée à prendre une part active à la planification du projet. Par contre, il est beaucoup plus ardu de décider du niveau des services et des dépenses en fonction de l'amélioration de l'hygiène publique. Certains affirment qu'il faudrait établir des normes en fonction des minima de consommation d'eau qui sont essentiels au maintien de la santé publique. Mais exception faite des minima absolus pour les besoins essentiels (2 à 3 gal/d par personne), fixer des minima pour la santé est sans objet, trompeur et improductif. Le niveau d'hygiène dépend non seulement de la quantité d'eau consommée, mais aussi de la façon dont elle est utilisée. Les pratiques d'utilisation de l'eau sont particulières à une culture : un village indien sait faire un usage beaucoup plus efficace d'un gallon d'eau à des fins hygiéniques que son homologue méridional. La quantité d'eau et les normes d'hygiène nécessaires pour réduire l'infection dépendent également de la nature des maladies. Il est faux de croire qu'on peut améliorer les conditions sanitaires d'une collectivité en lui assurant la distribution d'une quantité minimale déterminée d'eau. De plus, l'institution de normes très élevées engendre une conception trop poussée des installations, et par conséquent un gaspillage des fonds disponibles, limitant ainsi le nombre des familles qui peuvent profiter des services. On voit donc qu'il peut être plus dangereux de surestimer que de sous-estimer les quantités minimales d'eau requises.

Prenons l'exemple d'une collectivité où sévissent fortement le virus provoquant l'hépatite virale, la *Shigella dysenteriae* et les ascaris. Ces trois organismes infectueux sont courants. Malheureusement chacun se propage, au sein de chaque foyer et de la collectivité, en suivant les voies qui lui sont propres. Pour lutter efficacement contre les maladies qui, s'ensuivent les interventions doivent être conçues en fonction des voies de propagation. Les virus entériques sont virulents immédiatement après la défécation et se transmettent facilement par contact personnel. On doit donc insister sur l'hygiène personnelle et sur un approvisionnement en eau suffisant pour se laver à la maison. De plus, puisqu'une infection virale se propage par doses infectueuses relativement petites et que le virus peut se communiquer par l'eau potable, la qualité de l'eau revêt une extrême importance. Par contre, dans le cas d'une infection *Shigella*, il faut un grand nombre de bactéries pour que la maladie se propage; dans des conditions favorables, ces bactéries peuvent se multiplier à l'extérieur du corps. Les études épidémiologiques montrent qu'on peut réduire la fréquence des cas de *Shigella dysenteriae* en augmentant la quantité d'eau utilisée. On voit donc qu'avec ce type de dysenterie c'est la quantité d'eau — et non la qualité — qui importe. Quoi qu'il en soit, il ne suffit pas d'installer des pompes à main et des prises d'eau dans les collectivités pour réduire le taux de shigellose. Il faut de plus hausser la consommation d'eau dans les foyers et améliorer les pratiques d'hygiène personnelle. L'éducation sanitaire est alors un élément très important, voire essentiel. Autre cas d'infection : les vers ronds ou ascaris, qui se transmettent par des voies bien particulières. Les oeufs d'ascaris, qui sont excrétés avec les matières fécales, se dénombrent par milliers chaque jour. Les vers ont besoin d'un certain temps pour se développer et passer à l'état larvaire, à l'intérieur de l'oeuf mais à l'extérieur du corps, avant de devenir virulents. La transmission des parasites se fait par contact direct avec les matières fécales qui contaminent les cours des habitations et les maisons. Pour combattre les ascaris, il faut donc insister sur la présence d'un système adéquat d'évacuation des excréments et non sur celle d'un système d'approvisionnement en eau (bien que cet approvisionnement soit important, puisqu'il faut se laver les mains après la défécation).

L'exposé ci-dessus, qui ne traite que de trois infections entériques, montre clairement combien il importe de connaître la nature exacte des infections qui sévissent au sein d'une collectivité au moment de concevoir un système d'eau et d'égout, ou un programme de sensibilisation des usagers aux questions sanitaires. Dans le premier exemple donné, la qualité de l'eau et l'hygiène sont essentiels. Dans le second, ce sont la quantité d'eau et l'hygiène qui priment. Finalement, dans le cas des vers ronds, c'est l'élimination des excréments qui doit constituer l'élément central d'un programme sanitaire si l'on veut que l'intervention remporte quelque succès.

#### **PARTICIPATION À LA CONCEPTION**

Nombreuses sont les analogies qui existent entre l'aide technique accordée par les États riches aux pays en voie de développement et les subventions allouées par le gouvernement fédéral aux collectivités indiennes. Pour les projets d'approvisionnement en eau, on attend volontiers des ingénieurs qu'ils planifient non seulement l'alimentation en eau mais aussi l'aménagement sanitaire. Les égouts font donc partie du projet, mais ils sont

rarement installés car ils sont trop onéreux pour la majorité des habitants. Parfois, les collecteurs principaux sont construits, mais peu de gens y font raccorder leur habitation, faute des moyens financiers suffisants. On voit que de tels choix techniques sont fondamentalement inappropriés. Pourtant les situations de ce genre prévalent de nos jours dans les collectivités du Nord. Le blâme ne devrait pas être jeté uniquement sur les ingénieurs, qui ne représentent que l'une des données du problème, et qui ont le plus souvent les mains liées par leur mandat. Voici quelques-uns des éléments, essentiels et interdépendants, qui font obstacle aux projets :

a) La nature même de l'aide technique accordée par des institutions riches et souvent dominatrices, extérieures à la collectivité, intervient, car les raisons pour lesquelles le donateur accepte de soutenir un projet ne sont pas toujours les mêmes que celles pour lesquelles le donataire souhaite la réalisation du projet. Les conflits qui peuvent exister sur le plan des objectifs sont ignorés le temps de lancer le projet, mais se font jour par la suite, à mesure que progresse la réalisation.

b) La majorité des travaux de génie sont effectués dans des bureaux qui se trouvent à des lieux de la localité à desservir. Inviter la collectivité à participer à la conception d'un projet permet d'obtenir un accord collectif, au moins partiel.

c) Les travaux sont confiés à des firmes du Sud, faute de personnel qualifié dans la collectivité desservie et par suite des exigences du donateur. Ces compagnies sont peut-être tout à fait compétentes pour les travaux de génie dans les villes du Sud, mais se trouvent souvent "désseparées" dans le Nord. Vu la concurrence qui existe au chapitre des contrats et vu les termes des contrats, le temps que peuvent passer les concepteurs dans la collectivité représente peu, comme la chance que pouvait avoir la collectivité de participer au projet. En général, les mandats donnés aux concepteurs excluent les approches et les techniques mieux adaptées. Lorsque les techniques ne sont pas choisies à l'avance par le donateur, la firme d'ingénieurs a tendance à adopter une attitude conservatrice et hésite à entreprendre des réalisations techniques qui lui sont peu familières ou qui n'ont pas fait leurs preuves.

d) La collectivité dispose d'une expérience technique limitée, ne lui permettant pas de faire face aux techniques de pointe, à base de capital, qui ont été conçues dans le Sud et exportées vers le Nord. Il serait possible de remédier en partie à ces problèmes en s'orientant vers des techniques intermédiaires, moins avancées, à base de main-d'oeuvre. Mais en raison de la dépendance du Nord à l'endroit de l'expérience conceptuelle du Sud, cette possibilité restera limitée pendant un certain temps encore.

Traiter le donataire avec condescendance est malheureusement naturel pour le donateur. Le processus même d'octroi de subventions, d'assistance technique ou de prêts de faveur semble favoriser l'assujettissement au donateur plutôt que d'encourager un développement autonome. En dépit des bonnes intentions, les relations donateur-donataire sont souvent contraignantes. Et lorsqu'il s'agit de prendre des décisions clés concernant l'attribution des fonds, la sélection des techniques, la conception ou la mise en oeuvre du projet, la collectivité n'a plus son mot à dire parce qu'elle manque de la main-d'oeuvre et des capacités nécessaires. Cette situation porte atteinte à la confiance en soi et enlève la possibilité d'acquérir une expérience qui pourrait aider à résoudre les problèmes propres au milieu.

Ces facteurs ne constituent que des éléments d'un tout beaucoup plus vaste, celui de la dépendance des Amérindiens face au soutien des gouvernements fédéral et provincial. On ne peut espérer changer la situation globale mais il existe, sur le plan des réalités techniques, des possibilités autres que les approches classiques reposant sur une technologie de pointe. Citons à titre d'exemple le cas d'un projet pour une collectivité amérindienne à Big Trout Lake, dans le nord de l'Ontario. Le Conseil de bande a entrepris une évaluation de l'incidence sur le milieu de l'installation d'un réseau d'égouts, construit par le gouvernement fédéral. Avec la participation de la collectivité, il a été possible de repérer diverses solutions appropriées pour l'approvisionnement en eau et la collecte des déchets. — Nous donnons ici un bref compte rendu de cette tentative faite pour surmonter certains des problèmes énumérés plus haut.

La réserve amérindienne de Big Trout Lake, située sur Post Island, à l'ouest de la Baie de James (nord de l'Ontario), est peuplée par 600 Amérindiens de langue cri — dont la plupart sont âgés de moins de 25 ans. Leurs habitations sont construites sur Post Island, qui est reliée à la terre ferme par une étroite bande de terre. Sur l'île habitent également une soixantaine de Blancs, fonctionnaires du gouvernement, qui travaillent à l'école, à l'infirmerie, à la station météorologique et à l'aérodrome. Il existe également deux magasins généraux et une ligne d'aviation privée, dirigés par des gens du Sud. En 1971, le Service de protection de l'environnement (SPE) a fait une étude sur les eaux usées qui sont rejetées dans les plans d'eau des collectivités du Nord. La réserve de Big Trout Lake a été déclarée zone prioritaire dans la campagne d'assainissement lancée alors par le SPE, car

on a découvert que les eaux du lac autour de Post Island étaient polluées et que le fonctionnement des fosses septiques des bâtiments fédéraux était défectueux. En 1976, les plans finaux étant achevés, on a commencé la construction d'une canalisation d'égout qui devait collecter les eaux-vannes provenant des bâtiments fédéraux et des bâtiments avoisinants pour les transporter, via deux stations de pompage, vers une usine d'épuration par oxydation totale. Les effluents devaient être traités par chloration avant d'être rejetés dans le lac, en passant par un étang de stabilisation existant et des canalisations immergées. On devait tout d'abord donner priorité aux bâtiments gouvernementaux (y compris les résidences des fonctionnaires). On devait ensuite rattacher au système les établissements commerciaux et les bâtiments communautaires, comme celui du Conseil de bande. On avait indiqué la possibilité de relier au réseau les résidences amérindiennes qui se trouvaient à proximité du collecteur principal. Mais celles-ci, comme toutes les habitations des autochtones, n'étaient pas équipées d'installations pour l'eau courante. Il aurait donc fallu attendre de nombreuses années pour servir ne serait-ce que ces quelques familles.

La collectivité amérindienne n'était pour ainsi dire pas au courant du programme d'aménagement sanitaire avant le début des travaux. Aucun plan détaillé ne lui avait été soumis, et ce n'est que lorsque l'équipe de construction fit son entrée dans le cimetière amérindien et dynamita les tombes que les amérindiens manifestèrent une opposition déterminée. Tous les travaux furent arrêtés. Le Conseil de bande, qui commandait l'accès à la réserve, passa une résolution très ferme, stipulant que la construction ne reprendrait pas avant que la bande n'eût embauché ses propres conseillers pour évaluer l'impact de ce programme sur son milieu naturel. Après de longues négociations, on se décida en faveur d'une étude de l'environnement conçue comme suit : rapport coût-efficacité du réseau d'égouts, incidence sur Big Trout Lake et sur la collectivité, recommandations visant d'autres types de systèmes d'approvisionnement en eau et d'évacuation sanitaire. Comme le ministère des Affaires indiennes et du Nord n'était pas en mesure de débloquer immédiatement les fonds nécessaires, le Conseil de bande décida, par vote, d'utiliser ses propres réserves en capitaux pour cette évaluation. Il demanda au Conseil international pour l'éducation des adultes de réunir une équipe d'experts ayant une expérience internationale dans la mise sur pied de services d'eau et d'égouts, qui puisse mener à bien cette tâche.

Il est important de souligner ici que, dès le début du projet, les conseillers ne traitèrent qu'avec le Conseil de bande. On insista beaucoup sur la participation de la population, en invitant le Conseil à tenir des réunions publiques afin de sensibiliser les gens au projet. Parmi les objectifs secondaires figuraient les deux points suivants : renseigner les résidents de Big Trout Lake sur les questions d'environnement et de santé soulevées par le problème des égouts, faire découvrir aux membres de la réserve leur aptitude à chercher et à trouver la solution d'un tel problème.

Pendant tout le projet, on s'appliqua à obtenir la coopération du Conseil de bande, des résidents et de l'équipe venue du Sud. Il fut convenu que la collectivité devrait prendre part tant à la planification qu'à la mise en oeuvre des travaux. Il fut également convenu que le processus de recherche aurait un caractère éducatif, pour le bénéfice de la population. L'équipe venue du Sud comprenait un ingénieur des travaux sanitaires, un expert des recherches en participation, un architecte, un sociologue et un limnologue.

L'équipe recueillit des données au cours d'une période d'étude intensive dans la réserve de Big Trout Lake. Il y eut des entretiens avec les résidents, dans leurs foyers et ailleurs au village. On découvrit ainsi les pratiques existantes d'approvisionnement en eau, d'utilisation de l'eau à la maison et d'évacuation des excréments. On fit une analyse chimique et bactériologique des plans d'eau ainsi qu'une évaluation technique du système d'égouts proposé. On organisa des séances intensives de discussion avec la population, au cours de réunions générales organisées par le Conseil de bande. Les spécialistes venus du Sud habitèrent chez les autochtones pendant toute cette période; ils firent l'expérience directe des problèmes d'approvisionnement en eau et des conditions sanitaires qui constituent le quotidien de chaque Amérindien. L'équipe présenta les résultats de ses recherches non seulement lors des réunions publiques mais aussi à la radio locale, qui diffusait en cri.

## RÉSULTATS

La croissance anormale d'algues et la présence de particules en suspension le long des rives de l'île permirent de repérer facilement les points de décharge des égouts. On constata que la station météorologique du ministère de l'Environnement et la compagnie aérienne privée étaient les principales responsables de la pollution; on découvrit cependant d'autres sources non ponctuelles qui étaient considérables. L'infiltration souterraine de nutriments, provenant des fosses d'aisances et passant sur la roche de fond pour se jeter dans le lac, n'a pas été prouvée

mais elle est considérée comme hautement probable. Les quantités de nutriments trouvées à proximité du village étaient beaucoup plus élevées que partout ailleurs dans le lac Big Trout. Comme prévu, le nombre de colibacilles fécaux était supérieur à 50/100 ml MPN pour tous les points de prélèvement (dont les sources d'eau potable), situés à proximité du village. Après étude des eaux du lac, on arriva à la conclusion première qu'il fallait maîtriser le problème des égouts du village pour arrêter l'eutrophisation et la pollution du lac. Cette conclusion s'appuyait sur le fait que les eaux forment une baie peu profonde et tranquille autour de Post Island.

Plus d'un tiers des Amérindiens de la collectivité puisent leur eau dans le lac ou les rivières. Les autres vont chercher l'eau aux robinets situés à la station météo et à l'école. Quatre maisons ont des systèmes de récupération des eaux de pluie. Pendant l'hiver, on se sert également de neige ou de glace cassée dans le lac comme sources d'eau potable. Par ailleurs, de 1971 à 1973, le village a utilisé pour un temps sept puits artésiens, équipés de pompes à main, qui ont tous été abandonnés par suite de défaillances mécaniques ou par manque d'entretien. La quantité d'eau consommée par personne et par jour ne varie pas avec la distance nécessaire au transport entre la maison et la source. Elle s'élève de 0,8 à 2 gal/d par personne (moyenne de 1,2 gal), soit de 2 à 3 gal/d par personne si l'on compte l'eau pour la lessive et le nettoyage de la maison. L'eau est transportée sur des distances allant de 300 à 1 000 pieds; un vendeur d'eau, qui se fait payer 50¢ pour 5 gallons, offre ses services aux gens.

Une fois habillé, le matin, chacun des membres de la famille se lave les mains et le visage dans une petite cuvette qui contient 1 ou 2 chopines d'eau tiède. Au cours de la journée, une cuvette similaire pleine d'eau usée est laissée dans la cuisine, pour que les gens s'y lavent les mains. Cette eau de lavage est constamment réutilisée, ce qui est vraisemblablement un moyen de propager la contamination fécale entre les personnes et dans les aliments. On rapporte qu'à la fonte des neiges, au printemps, les décharges liquides qui proviennent des fosses d'aisances trop encombrées, le long de la rive du lac, provoquent l'apparition de taches brunâtres à la surface de la glace. C'est en cette saison que les cas de *Shigella* et d'hépatite sont les plus fréquents.

Il est important de bien faire la distinction entre les habitations des gens de race blanche et celles des Amérindiens en ce qui concerne les pratiques d'élimination des déchets. Comme nous l'avons fait remarquer déjà, toutes les maisons habitées par les non-autochtones ont un système d'eau courante, mais pas une des maisons habitées par les autochtones. On estime que les Blancs produisent de 30 à 50 gal/d d'eaux usées par personne, alors que les Amérindiens produisent 2 à 3 gallons. La population amérindienne utilise des fosses d'aisances pour la défécation, tant en hiver qu'en été. (À la période la plus froide, les gens les plus âgés utilisent des seaux hygiéniques, à l'intérieur.) Les latrines posent de sérieux problèmes, quand elles débordent au printemps; en été, elles dégagent une forte odeur et attirent les mouches. Elles sont également utilisées pour la décharge des ordures ménagères et sont parfois si encombrées de papiers et d'ordures qu'il faut creuser une nouvelle fosse chaque année. Les eaux de vaisselle et de lessive sont jetées sur le sol, autour de la maison, où elles disparaissent par infiltration.

Au cours de la réunion générale du Conseil de bande, la collectivité a exprimé avec beaucoup de clarté ses inquiétudes au sujet de la détérioration de la qualité des eaux lacustres à proximité de Post Island. Les résidents ont dit avoir le sentiment que l'impact sur le poisson, l'eau, le gibier à plumes et, dans une certaine mesure, sur l'ensemble du règne animal, était irréversible. Le fait que les générations à venir ne pourraient pas adopter le mode de vie Amérindien en raison de la pollution inquiète beaucoup. La prévalence de la diarrhée et de la dysenterie est directement reliée à la pollution des sources d'eau potable. Point intéressant à noter : de nombreux résidents ont remarqué qu'aux alentours de Post Island l'eau a changé de goût au cours des dix dernières années. Beaucoup d'entre eux font 2 à 3 milles vers le large pour chercher de l'eau "fraîche".

Il semble que la réserve de Big Trout Lake ait les moyens financiers et le désir d'améliorer son niveau de vie. Bon nombre d'habitations qui ont l'électricité sont équipées de divers appareils ménagers : machine à laver, cuisinière électrique, bouilloire, grille-pain et même ouvre-boîte électrique. Toutes les maisons ont un radio; celles qui sont rattachées au réseau électrique ont un téléviseur. Le nombre de motoneiges et les ventes d'aliments conditionnés (magasin de la Baie d'Hudson) témoignent du pouvoir d'achat de la collectivité et indiquent que les habitants seraient prêts à payer pour le confort qu'apporteraient les services d'eau et d'égout. La collectivité souhaite vivement réduire le coût du transport de l'eau : les 50¢ par seau de 5 gallons, dont on a parlé plus tôt, indiquent quelle est la situation. Les habitants ont fait savoir qu'ils étaient prêts à payer \$5 par semaine pour avoir l'eau au robinet à la maison. Notons un autre élément significatif : les chiffres de vente de papier hygiénique (\$8 000 par an) et de couches jetables (\$33 500 par an). Ce point particulier mérite d'être étudié et clarifié. C'est avant tout par souci de confort que la collectivité souhaite amener le système d'approvisionnement en eau jusqu'à la maison, ou à proximité de celle-ci.

Sur le plan sanitaire, une amélioration du service d'approvisionnement en eau permettrait un progrès de l'hygiène au foyer. Se laver le corps n'est pas pratique courante dans le village, mais il est fort probable que les habitants se laveraient davantage les mains (ce qui limiterait la prévalence des maladies entériques), s'ils avaient plus facilement accès à l'eau. Installer l'eau courante dans chaque foyer comporte cependant un risque important, à savoir une escalade de la demande. Selon toute probabilité, la consommation d'eau augmenterait beaucoup : elle pourrait passer de 2 ou 3 gal/d par personne actuels à 30 gallons et plus. Un service d'égouts serait alors nécessaire pour transporter les eaux usées vers un point de traitement et de décharge. Or, la collectivité ne peut se permettre d'acquérir un réseau d'égouts. De plus, un tel système n'est pas recommandé car il favoriserait l'eutrophisation du lac. Il est donc important d'envisager de limiter la consommation d'eau en fonction des quantités d'eaux usées que l'on peut éliminer en toute sécurité.

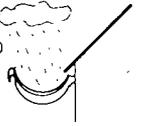
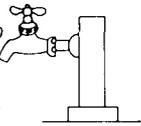
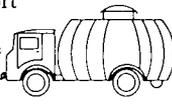
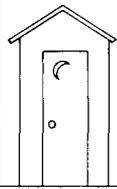
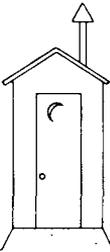
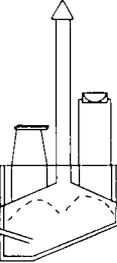
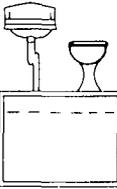
### RECOMMANDATIONS

L'aménagement des services d'eau et d'égouts est un processus dynamique. Il n'existe pas une technique unique, qui puisse s'appliquer d'une manière uniforme, et dont le financement par la collectivité serait assuré. Il existe plusieurs solutions au problème de l'approvisionnement en eau, chacune offrant un niveau de service différent, des frais en capital et des coûts d'exploitation concomitants. Parmi ces possibilités figurent les systèmes de récupération de l'eau de pluie sur le toit, les pompes à main, les fontaines ou les robinets publics et la distribution par véhicule. De même, pour l'élimination des excréments, les fosses d'aisances actuellement utilisées peuvent être améliorées de façon à éviter tout débordement, ou être équipées d'une doublure pour retenir les eaux usées. On peut envisager des cabinets à fermentation ou un système de collecte par véhicule. Ces solutions sont indiquées à la figure de la page suivante, qui présente les diverses méthodes d'approvisionnement en eau et d'évacuation des déchets. Les frais en capital et les coûts d'exploitation (entre parenthèses) sont donnés pour indiquer les coûts supplémentaires nécessaires si l'on veut combiner des installations. La collectivité devrait cesser de puiser l'eau du lac, à proximité de la côte, et d'utiliser comme source d'eau potable des blocs de glace provenant du lac pendant l'hiver. Si, par nécessité, il est impossible de mettre fin à cette pratique, l'eau devrait être mise à bouillir avant d'être consommée. Les systèmes de récupération des eaux de pluie sur le toit sont considérés comme une manière commode de compléter l'approvisionnement en eau au cours de l'été, en particulier quand l'habitation est éloignée du point d'eau le plus proche. Si on suppose que l'efficacité du système de collecte est de l'ordre de 80 p. cent, on peut compter recueillir 300 gallons d'eau au cours d'un été, avec un toit de taille moyenne, ce qui constitue l'approvisionnement de 100 jours pour un individu.

Les tentatives faites pour réparer les pompes à main existantes se sont soldées par des échecs. On recommande que toutes les pompes soient réparées par le Conseil de bande lui-même, ce qui exige qu'un ou deux Amérindiens suivent un cours de formation rapide sur l'entretien et la réparation des pompes et des installations. Aucune pompe à main ne peut fonctionner continuellement sans entretien. Compter sur des experts provenant de l'extérieur de la réserve serait trop présumer; on le sait par expérience. Comme la réparation des pompes est primordiale, il faudrait former un technicien pour que la réserve ait, en son sein même, un préposé qualifié. Ce technicien pourrait venir en aide aux collectivités voisines en cas de besoin. Les frais de réparation seraient minimes, comparés aux avantages retirés.

Autre solution possible pour amener l'eau à proximité des maisons : un système de distribution par canalisations, comprenant des robinets installés dans la rue. Le rapport robinets/maisons pourrait être de 1 pour 5, ce qui amènerait l'eau à environ 100 pieds de presque toutes les maisons sur Post Island. La quantité d'eau consommée dans chaque foyer augmenterait, mais certainement moins qu'on pourrait le penser de prime abord, l'eau devant tout de même être transportée jusqu'à la maison. Il se pourrait que la demande double, ce qui serait souhaitable sur le plan hygiénique, et cette consommation n'excéderait pas la capacité du sol à absorber les eaux usées. On estime que la source d'approvisionnement en eau qui existe actuellement dans le complexe scolaire suffirait à répondre aux demandes de la collectivité. Bien entendu, le système de distribution et les robinets publics devraient être conçus de manière à résister au gel.

Un autre moyen encore plus commode d'augmenter la consommation actuelle d'eau, sans inciter la population à en faire une utilisation excessive, serait la distribution par véhicule. L'eau pourrait être livrée régulièrement, une fois par semaine ou une fois tous les 15 jours, stockée dans des réservoirs situés dans les maisons, et être amenée aux robinets par gravitation. On pourrait contrôler la quantité d'eau consommée en limitant les livraisons et en instaurant certains barèmes de prix, cela afin d'éviter des rejets excessifs dans l'aire d'infiltration située dans le sous-sol. Les habitations devraient toutes avoir au moins un évier, de préférence équipé d'un robuste

Seau hygiénique (lac, école) \$0 (\$0)		\$0 (\$0)	\$40-\$50 (\$0)	\$300-\$350 (\$50)	\$500-\$600 (\$0)	
\$150-\$200 (\$0)		\$150-\$200 (\$0)	\$190-\$250 (\$0)	\$450-\$550 (\$50)	\$650-\$800 (\$0)	
Pompe à main \$80-\$100 (\$15)		\$80-\$100 (\$15)	\$120-\$150 (\$15)	\$380-\$450 (\$65)	\$580-\$700 (\$15)	
\$2000-\$2200 (\$25)		\$2000-\$2200 (\$25)	\$2040-\$2250 (\$25)	\$2300-\$2550 (\$75)	\$2500-\$2800 (\$25)	
Transport par véhicule						\$1800-\$2000 (\$500)
Note. - Les montants correspondent approximativement aux frais en capital et aux coûts d'exploitation annuels (entre parenthèses)		Cabinet extérieur \$0 (\$0)				
		Amélioré \$40-\$50 (\$0)				
		Amélioré avec doublure \$300-\$350 (\$50)				
		Cabinet à fermentation \$500-\$600 (\$0)				
		Collecte par véhicule				

Diverses méthodes d'approvisionnement en eau et d'évacuation sanitaire à Big Trout Lake

dispositif automatique de fermeture (robinet Fordilla, par exemple). On ne pourrait probablement pas installer de douches dans les maisons habitées par les Amérindiens. La pose d'éviers supplémentaires serait possible; celle de cabinets classiques avec réservoir de chasse ne le serait pas. Il faudrait installer des toilettes à faible volume de chasse s'écoulant dans les fosses d'égout de l'habitation.

On a conclu que les systèmes traditionnellement utilisés dans le Sud, comme les fosses septiques et les systèmes du tout-à-l'égout, ne sont pas applicables aux habitations (amérindiennes ou non amérindiennes) de Big Trout. Les toilettes chimiques à recirculation et les seaux hygiéniques (peu onéreux), sont couramment utilisés dans le Nord mais ne peuvent résoudre le problème du traitement et de l'évacuation des déchets. Les cabinets à incinération, à compostage (petit), à emballage et réfrigérateur, de même que les toilettes biologiques, présentent tous les mêmes inconvénients. Certains de ces systèmes n'ont pas encore fait leurs preuves, même dans le Sud; d'autres se sont révélés inadaptables aux conditions extrêmes du Grand Nord.

On a fait, pour une zone représentative, une étude détaillée des latrines actuellement utilisées. Les cabinets extérieurs qui n'ont pas été construits sur des caissons s'enfoncent et basculent. La plupart des latrines sont fortement érodées à la base, laissant ainsi pénétrer l'eau dans la fosse lorsqu'il pleut. Les fosses servent pendant 1 ou 2 années. On a noté la présence de mouches dans les fosses et aux environs. À titre de mesure immédiate, on a proposé d'améliorer les cabinets extérieurs en construisant le caisson au-dessus, et non à l'intérieur de la

fosse, et en entourant de terre le caisson pour empêcher l'eau de pluie de pénétrer. Cela permettrait d'augmenter la capacité de la fosse, donc sa durée d'utilisation. Des ouvertures d'aération produisant un courant d'air naturel, de l'intérieur vers l'extérieur des latrines, marqueraient également un progrès. On soupçonne que les nutriments des décharges atteignent les profondeurs du lac, en particulier quand les latrines sont situées près des bords du lac, dans des zones où le socle rocheux est peu profond. Dans ce cas, les fosses d'aisances pourraient être transformées en bassins de rétention par la pose d'une doublure ou d'un sac. On pourrait alors vidanger les fosses une fois au printemps et de nouveau à l'automne, avant la saison de gel.

On a étudié la possibilité d'utiliser des toilettes avec système de fermentation. Ces toilettes comprennent un vaste réceptacle, dans lequel les matières fécales et les déchets de cuisine organiques sont entreposés très longtemps (jusqu'à deux ou trois ans). L'urine s'évapore et elle est ventilée par un conduit menant vers l'extérieur. Pendant la période de stockage, les matières subissent une décomposition organique et se transforment en humus. Contrairement aux petites toilettes à compost, les toilettes de fermentation peuvent être utilisées de façon régulière et intensive. On sait, par expérience, qu'il existe de sérieuses difficultés pour installer ce type de cabinets dans le nord du Canada, difficultés qu'il n'est possible de résoudre que lorsque l'ensemble est installé à l'intérieur de la maison. Cette considération joue évidemment au niveau de la conception des maisons, c'est pourquoi on recommande ce type de toilettes uniquement pour les habitations neuves. Dans l'état actuel des connaissances relatives à ce type de cabinets, on devrait les envisager à titre expérimental seulement.

Les améliorations que nous avons proposées ne concernent que le problème de l'élimination des déchets dans les maisons sans système d'eau courante, c.-à-d. les maisons habitées par les Amérindiens. Si la consommation d'eau augmente, la collectivité aura à éliminer un volume d'eaux usées relativement plus grand. Un système traditionnel de collecte fait, à juste titre, sa réapparition dans le Nord : le ramassage par véhicule. L'avantage de ce système est qu'il peut être mis en place progressivement, pour prendre de l'expansion à mesure que les ressources permettent de desservir une plus grande partie de la population. Le traitement des eaux usées se ferait ici dans 4 étangs d'oxydation, les deux premiers fonctionnant en parallèle et servant de bassins primaires pour la sédimentation des particules et le traitement anaérobie. Les étangs secondaires opéreraient en série. On a calculé qu'il faudrait au total 4 acres de surface lacustre pour ce système de traitement. Les étangs seraient situés à environ 1 mille du village.

### ÉTAPES FUTURES

Les différentes options techniques présentées ci-dessus avaient pour but de fournir des éléments concrets, à partir desquels la collectivité pourrait prendre une décision. La *manière* dont les habitants de Big Trout Lake ont exprimé leur choix est tout aussi importante, à long terme, que les *choix* proprement dits. Pour les prochaines étapes du projet la participation de la majorité de la population amérindienne reste indispensable si l'on veut réussir. Big Trout Lake est peut-être l'une des collectivités autochtones les plus dynamiques de toutes celles qui se trouvent au nord du 50<sup>e</sup> parallèle, en Ontario. Le Conseil de bande s'attache à atteindre le statut d'autodétermination et de gouvernement local. Il est tout à fait conscient que l'éducation fait partie du processus de développement. Sur le plan éducatif, l'expérience de la réserve est appréciable. La station radio, véhicule pédagogique, a la réputation d'encourager la diffusion d'émissions sur les questions qui intéressent les Amérindiens. La radio cri est un instrument de communication à l'intérieur de la collectivité. Le programme d'émissions sur l'hygiène a connu un immense succès, comme le démontrent les connaissances qu'ont maintenant les Amérindiens en ce qui a trait aux questions sanitaires.

De toute évidence, beaucoup d'information à caractère technique doit être traduite et communiquée à la bande de Big Trout Lake. Le choix des techniques à employer pour améliorer les services d'eau et d'égouts nécessite une participation de la collectivité. Si l'on veut que la mise en oeuvre de ces solutions soit couronnée de succès, on doit renseigner consciencieusement la population et lui laisser assez de temps pour étudier toutes les options offertes. Il est donc de première importance de renseigner les gens. Cela pourrait se faire par l'intermédiaire de brochures, notes d'information, affiches, bandes magnétiques et autre matériel pédagogique. Il faudrait également organiser des réunions publiques et des conférences. Comme par le passé, il faudrait faire usage de la radio. On prévoit instaurer un système qui permettrait à la bande de s'occuper elle-même des recherches sur les diverses possibilités pour l'approvisionnement en eau et l'aménagement sanitaire. On recommande qu'un comité soit formé au sein du Conseil de bande, dont le but serait de coordonner les activités. Big Trout Lake offre une occasion unique de mettre au point un modèle de recherche qui fasse appel à la participation de la collectivité et qui mène à son autonomie en matière de développement et de solution des problèmes.

## TROISIÈME SÉANCE APPLICATIONS TECHNIQUES

### ÉTUDES SUR LA CONSTRUCTION DES RÉSEAUX DE SERVICES PUBLICS DANS LES RÉGIONS FROIDES

M. Fielding  
Ministère de l'Environnement de l'Ontario

#### INTRODUCTION

En Ontario, la zone de peuplement s'étend entre environ 42° et 56° de latitude Nord. Les plus gros centres de population se trouvent au sud du 50<sup>e</sup> parallèle. Notre étude porte sur ces agglomérations, et plus précisément sur celles qui se situent entre 46° et 50° N.

Dans cette zone, la température d'étude pour le mois de janvier varie de -20 à -40 °C et le nombre de "degrés-jour de gel" (Celsius) se situe entre 1 000 et 2 500 environ.

À ces latitudes, l'aménagement de réseaux de canalisations nécessite en général l'excavation de tranchées dans des terrains marécageux et dans le roc précambrien.

#### ÉTUDES INITIALES

La première étude dans cette région a été effectuée par l'Applied Sciences Section. Elle visait à surveiller la température du sol autour d'une conduite d'amenée calorifugée, dans une municipalité située à environ 46° 35' de latitude Nord. Les travaux ont été résumés dans une publication du ministère ontarien de l'Environnement(1). Le réseau était composé d'environ 30 km de conduites de 60 cm en béton armé, dont 1,5 km enfoui à une profondeur de 1,1 m et recouvert d'une plaque isolante en polystyrène expansé (*styrofoam*) de 50 mm × 2,5 m.

Le réseau n'ayant pas été pensé comme "projet de recherche", toutes les données de contrôle ne sont pas connues. Mais les conclusions générales de l'étude étaient les suivantes :

- 1) La pénétration du gel dans le sol a été supérieure à ce qu'on attendait (>2,3 m).
- 2) Le sol sous le revêtement calorifuge a atteint des températures de gel, sans doute à cause des pertes de chaleur horizontales.
- 3) Les températures au niveau de la paroi sont descendues au-dessous de zéro et pourtant, le contenu des conduites n'a pas gelé : ceci s'explique sans doute par la chaleur latente de fusion du contenu.

Par suite de cette étude (et considérant les données qu'elle a permis de recueillir), on s'est penché de plus près sur les aspects théoriques de la réaction des conduites d'eau aux températures de gel.

#### RECHERCHES THÉORIQUES

On a analysé les aspects théoriques du gel des conduites souterraines à partir de la théorie thermodynamique classique, conjuguée aux données recueillies sur le terrain. Une partie de ce travail d'analyse a été présentée dans le rapport RP 2044, auquel il est fait allusion plus haut et, d'une manière plus complète, dans la Note technique (2) du D<sup>r</sup> G.D. Zamett.

On a conclu que la théorie classique permet de calculer une température d'étude pour n'importe quelle profondeur du sol (figure 1) et, à partir de cette température, de calculer le temps de séjour à ne pas dépasser si on veut éviter la congélation du contenu des conduites.

#### ÉTUDES ACTUELLES

À l'heure actuelle, nous menons deux études pour mesurer les températures du sol et les contraintes induites. La première étude porte sur une conduite maîtresse en chlorure de polyvinyle (CPV) et l'autre sur des regards de visite en béton préfabriqué.

**Conduite maîtresse de Keewatin.** — À Keewatin, petite collectivité du nord-ouest de l'Ontario (à environ 50° de latitude Nord), une conduite d'eau de 150 mm a été installée en 1975 dans le cadre d'un programme provincial de travaux publics. L'installation standard est gravitaire et comprend une conduite de refoulement

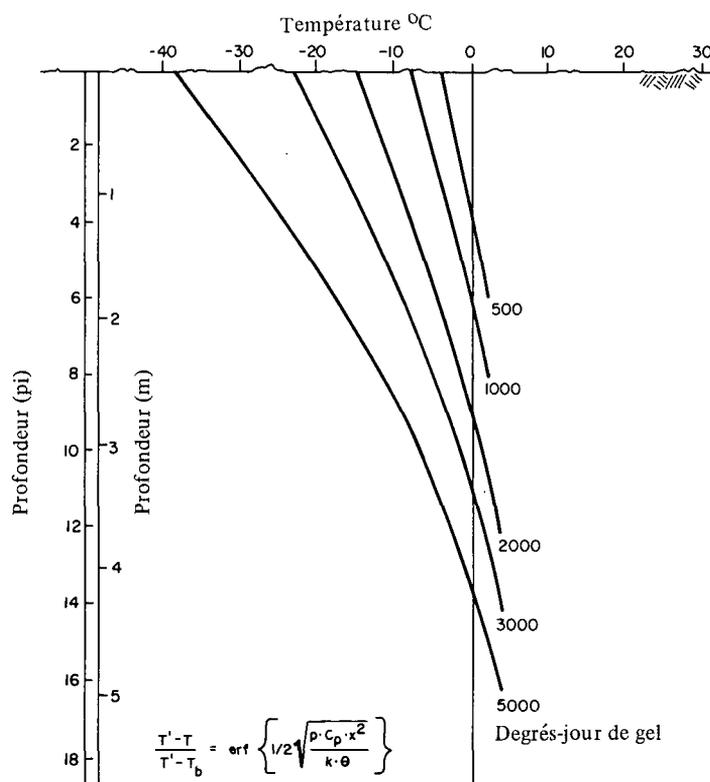


Figure 1 Température théorique du sol

(égout) et une conduite d'alimentation en eau placées dans une tranchée commune, dans le roc — la conduite maîtresse étant située à 50 cm au-dessus de l'égout et couverte d'une plaque isolante en polystyrène expansé en forme de "L". Sur trois tronçons d'essai, la plaque isolante a été remplacée respectivement par une gaine en polyuréthane, une gaine en mousse de verre (*foamglass*) et une couverture de 20 cm de sciure de bois. On a procédé aux relevés suivants : températures du sol jusqu'à une profondeur de 2,75 m, contraintes exercées sur la paroi, au sommet, au bas et au milieu de la conduite, en trois points de chaque tronçon d'essai. Nous en sommes actuellement à la dernière année d'une période de surveillance de quatre ans et nous ne disposons pas encore des résultats définitifs. Toutefois, les données déjà recueillies et analysées permettent de tirer les conclusions provisoires suivantes :

1) Il semble possible de caractériser la profondeur de pénétration du gel par la simple formule empirique  $x = A\sqrt{F}$ , où  $x$  = la profondeur du gel (mètres),  $F$  = l'indice de gel (degrés-jour de gel, °C) et  $A$  = un coefficient qui dépend des conditions du sol dans la tranchée. De plus, le coefficient "A" semble avoir une valeur constante pour des conditions normales dans les tranchées, à savoir :  $A = 0,078$ . Cette valeur correspond à une absence totale de couverture nivale. Elle diminue, s'établissant à 0,05 environ, en présence d'une couverture nivale de 30 cm. Cette dernière valeur doit pourtant être considérée comme fortuite et ne doit donc pas être retenue pour la conception des projets. Le sujet est traité plus en profondeur dans une étude de Cohen et Fielding (3).

2) Quand le sol est gelé, il exerce sur les conduites souterraines une charge verticale supplémentaire. Cette charge additionnelle est comparable à une charge dynamique qui serait appliquée à un tuyau enfoui à une profondeur égale à la distance entre le sommet du tuyau et la ligne de pénétration du gel. D'autres chercheurs (4) ont constaté que l'augmentation est égale à la charge initiale (charge d'hiver = le double de la charge statique), mais nos travaux semblent indiquer une certaine variabilité. Nous ne connaissons pas encore la grandeur de la charge dynamique dans le cas qui nous occupe, mais nous espérons l'obtenir en poursuivant l'analyse des données.

**Regards de visite à Thessalon.** – Les regards de visite en béton préfabriqué posent souvent le problème suivant : le déplacement de certaines sections par le soulèvement dû au gel entraîne des infiltrations massives dans les conduites d'égout. Dans le cadre du programme de surveillance des températures et des contraintes mentionné plus haut, nous avons installé des appareils de mesure dans quatre regards de visite situés à Thessalon (46° 20' de latitude N). Nous en sommes actuellement à la dernière année de ce programme de trois ans. Les données recueillies à l'heure actuelle nous permettent de tirer certaines conclusions provisoires.

- 1) Il est difficile de faire adhérer les extensomètres aux parois humides des regards de visite.
- 2) Le déplacement des sections de regards de visite provoqué par le gel résulte de poussées horizontales plutôt que verticales.

Comme solution provisoire (5), nous avons proposé la fixation, entre le haut et le bas, de bandes d'acier inoxydable dont la structure suffirait pour résister aux poussées. Il existe peut-être une meilleure solution sur le plan économique, mais celle-ci paraît efficace.

### CONCLUSIONS

Ce document donne une description succincte et très générale de nos travaux sur l'aménagement de services dans le Nord. Notre étude ne constitue pas une "recherche fondamentale" et n'ajoute pas beaucoup aux connaissances actuelles en la matière. Nos efforts visent avant tout à solutionner les problèmes, afin d'aider le ministère de l'Environnement à prendre ses responsabilités en ce qui concerne les services d'eau et d'égout dans les localités du Nord.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Fielding, M.B., *Temperature Monitoring of an Insulated Watermain*, Ontario Ministry of the Environment, RP 2044, Toronto, 1976.
- 2) Zarnett, G.D., Ph.D., *Design of Buried Pipelines in Cold Climates*, Ontario Ministry of the Environment, TN 7009, 1976.
- 3) Cohen, A. Ph.D. et Fielding M.B., "Predicting Frost Depths, Protecting Underground Pipelines", *Jrn. AWWA*, 71, 113 pages.
- 4) Monie, W.D. et Clark, C.M., "Loads on Underground Pipe Due to Frost Penetration", *Jrn. AWWA*, 66, 353 pages, 1974.
- 5) Cohen, A., Ph.D., "Prevention of Frost Heave in Manholes", *Water and Pollution Control*, oct. 1978.

TROISIÈME SÉANCE  
APPLICATION TECHNIQUES

TOWNSHIP DE TÉMAGAMI :  
PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT DES SERVICES PUBLICS  
DANS UNE LOCALITÉ DU NORD

Brian J. Cooper  
Design and Equipment Section, Project Co-ordination Branch  
Ontario Ministry of the Environment

**INTRODUCTION**

Le township de Témagami est situé sur la route n° 11, à environ 460 km au nord de Toronto. L'établissement des premiers colons, attirés par les mines d'or et les activités forestières de la région, remonte à 1900. Cinq ans plus tard, la voie ferrée de l'Ontario Northland Railway est construite. Peu de temps après, les terrains accordés à la compagnie ferroviaire sont divisés en lots, à l'emplacement qu'occupe aujourd'hui le village. Ces terres et les morcellements subséquents forment le village actuel, qui compte environ 150 habitations.

Pendant de nombreuses années, la beauté naturelle du lac Témagami a attiré les touristes et les vacanciers; le tourisme est devenu l'une des ressources principales de la région. Les îles du lac Témagami comptent à peu près 1 300 chalets. Leurs propriétaires proviennent de diverses régions du Canada et des États-Unis.

Les industries locales se rapportent aux exploitations minières et forestières.

Le lac Témagami, plan d'eau typique du bouclier canadien, est froid, limpide, et stérile. Les échanges d'eau sont relativement faibles en raison de la petitesse et du nombre réduit des cours d'eau qui se jettent dans le lac ou qui s'en échappent. La seule rivière en provenance du lac charrie relativement peu d'eau pendant les périodes sèches; la plus grande partie de l'eau perdue l'est par évaporation (durant l'été). On doit donc exercer un contrôle strict sur les projets d'aménagement le long des affluents pour protéger la qualité de l'eau dans le lac.

La source de pollution la plus sérieuse venait autrefois du village même de Témagami, où il n'existait pas d'installation de traitement des eaux usées. La pollution des eaux était particulièrement forte dans le bras nord-est (Portage Bay) du plan d'eau.

La localité est limitée à l'est et au nord par une exploitation minière à ciel ouvert, au nord-est par des collines rocheuses, à l'est et au sud par d'autres collines rocheuses et des lacs.

Les maisons ont été construites ici et là, sans aucun plan, le long de côtes rocheuses et de vallées. Des études du sol indiquent un affleurement rocheux sur environ 60 p. cent de la zone construite, une couverture de sol d'une profondeur approximative de 0,6 m sur 30 p. cent de cette zone et d'une profondeur de 3,05 m ou plus sur le reste de la zone.

Bien que les conditions climatologiques de la région (1 300 degrés-jour de gel, °C), ne soient pas aussi rigoureuses que dans beaucoup de régions étudiées, la combinaison du nombre de degrés-jour de gel et du bouclier précambrien se traduit par un coût élevé des services publics.

**ANTÉCÉDENTS**

Pendant une période de 20 ans, on a produit six rapports concernant les services publics existants. Certains proposaient qu'on étende les limites territoriales du Township pour favoriser l'expansion minière dans la région. Cependant, tous ces rapports concluaient dans le même sens : l'expansion de la collectivité actuelle n'était pas viable sur le plan économique; les systèmes d'élimination des déchets étaient inadéquats, causaient des problèmes d'hygiène publique et contribuaient à la détérioration du bras nord-est du lac. Or, corriger la situation entraînerait des dépenses extrêmement élevées.

---

Remarque. — La mention de marques ou de produits commerciaux n'est faite ici qu'à titre illustratif et ne constitue en aucun cas un appui du ministère ontarien de l'Environnement.

Dans un rapport préparé pour le ministère de l'Environnement en décembre 1974 (1), les trois solutions suivantes ont été proposées pour résoudre le problème de l'élimination des déchets dans la localité :

1<sup>re</sup> possibilité. — Un réseau d'égouts gravitaires, des stations de pompage et des conduites de refoulement, ainsi qu'une usine de traitement des eaux usées par aération prolongée avec filtrage des effluents et élimination du phosphore. Les frais en capital (\$ 1978) étaient évalués à \$2 730 000, dont environ \$1 992 000 serviraient à payer le collecteur d'égout, les stations de pompage des eaux usées et les conduites de refoulement.

2<sup>e</sup> possibilité. — Aménagement de réservoirs de stockage dans chaque habitation, transport des déchets par véhicule et rejet dans un étang de lagunage situé à environ 4,0 km au nord de la localité. Pour cette option, les frais en capital étaient évalués entre \$1 100 000 et \$1 400 000.

3<sup>e</sup> possibilité. — L'installation à domicile de systèmes compacts de traitement des eaux usées (système Aquarobic, par exemple). L'estimation du coût en capital de cette option se situait entre \$1 100 000 et \$1 400 000.

Comme on peut le voir, le coût de l'aménagement des services publics dans cette localité était extrêmement élevé. Même avec une subvention généreuse du gouvernement, qui aurait couvert 75 p. cent du coût en capital, les montants cités n'étaient pas à la portée de la plupart des résidents.

À la suite de pourparlers entre la municipalité et les propriétaires concernés, on a différé la réalisation des travaux.

En décembre 1976, l'expert-conseil de la municipalité a soumis une proposition préliminaire pour la construction d'un réseau d'égouts sous pression, isolés et enfouis à une faible profondeur. La proposition indiquait que ce système serait doublé d'un traitement des eaux-vannes, dans une usine de traitement mécanique des eaux usées (RBC ou aération prolongée avec filtrage des effluents), ou dans un étang de stabilisation des eaux usées. L'estimation du coût total en capital était de \$1 250 000 (aération prolongée avec filtrage des effluents), à \$1 560 000 (2,8 hectares pour l'étang de stabilisation, avec revêtement intérieur). De ce coût, environ \$709 000 étaient destinés au réseau d'égouts sous pression.

### RÉSEAU D'ÉGOUTS SOUS PRESSION

Le concept d'un système d'égouts sous pression pour la collecte et le transport des déchets domestiques n'est pas entièrement nouveau en Amérique du Nord. Pourtant, il n'avait jamais été considéré comme une solution viable en Ontario avant la proposition avancée pour Témagami. Un élément ajoutait à l'inattendu dans ce cas : la localité se trouvait dans une région de gel, et on envisageait d'y installer un système isolé, posé dans une tranchée peu profonde.

Pour ce qui est de l'isolation thermique, on envisagea deux systèmes différents. Le premier prévoyait la construction d'un "coffrage antigel" en polystyrène expansé, dans lequel se trouverait la conduite d'adduction.

Après une comparaison de ce "coffrage antigel" et de la canalisation Sclaircor, fabriquée par Du Pont du Canada, on opta pour la solution Sclaircor. Le coût des matériaux était plus élevé, mais on estima que le coût de l'installation serait plus bas (ce qui permettrait une économie finale), puisque le produit était vendu "en bloc" et que sa pose exigeait moins de travail.

En raison de la nature même du système, de la topographie, de la géologie des lieux et de la manière relativement anarchique dont les maisons existantes avaient été construites, on ne calqua pas le tracé du réseau de canalisations sur celui du réseau routier municipal. On préféra emprunter la "voie la plus facile" (c'est-à-dire celle qui demandait un minimum de travaux d'excavation. Le réseau de canalisations serpente donc la localité et traverse surtout des propriétés privées. Il fallut mener de longues négociations avec les quelques 150 propriétaires terriens, et conclure des contrats individuels autorisant la construction sur les propriétés privées.

À l'exception des canalisations qui devaient traverser ou longer la route n<sup>o</sup> 11, où selon le ministère ontarien des Transports et des Communications il fallait un remblai minimal de 1,2 m, le système fut enfoui à une profondeur moyenne de 0,6 m. Là où le réseau croisait des routes, des chemins privés, etc., dans le reste de la localité les conduites isolées furent placées dans un manchon en métal ondulé.

Le système final pour lequel on fit appel d'offres comprenait l'installation d'environ 8 250 m de canalisations pré-isolées en polyéthylène, la construction d'environ 30 compartiments de service, l'installation de points d'alimentation électrique pour les rubans chauffants, l'acquisition d'environ 160 unités de pompage, et le raccord à chaque domicile. On fit un appel d'offres séparé pour l'aménagement de l'étang de stabilisation des eaux usées.

Après un appel d'offres pour la fourniture des pompes-broyeuses, on passa commande à ITT Grinnell (Environment I Corporation) pour 139 unités standards, 9 unités de très grand modèle (pompe simple, double puisard), 6 unités à deux pistons, 6 noyaux de pompage de remplacement, plus les frais de visite d'expert et de supervision sur le terrain.

Les soumissions pour le réseau d'égouts sous pression et pour les pompes-broyeuses s'élevaient respectivement à \$927 055 et \$207 153,95.

À cela viennent s'ajouter les frais d'installation des unités individuelles ainsi que les coûts d'exploitation et d'entretien.

On a calculé, d'après les chiffres du projet Rose-Blanche à Terre-Neuve, que les frais d'installation s'élevaient de \$300 à \$800 par unité à Témagami.

Cette différence dans le coût du coût par unité résulte de divers éléments : emplacement de l'unité (à l'intérieur ou à l'extérieur), nécessité de modifier les systèmes électriques existants, travaux effectués par le propriétaire ou par un entrepreneur local.

On a évalué que les coûts d'exploitation et d'entretien seraient de \$96,25 par an, coût du traitement des eaux usées non compris.

### **ÉTANG DE STABILISATION DES EAUX USÉES**

Le coût de l'aménagement de l'étang de stabilisation des eaux usées était très élevé (soit environ \$304 000/ha).

Il fallait enlever environ 74 166 m<sup>3</sup> de muskeg et 2 676 m<sup>3</sup> de roche, importer 52 200 m<sup>3</sup> de remblai rocheux, 23 620 m<sup>3</sup> de remblai terreux et 9 200 m<sup>3</sup> d'argile pour construire l'étang de stabilisation des eaux usées.

L'étang avait été conçu pour recevoir une décharge saisonnière (180 jours de rétention), en supposant un débit moyen par habitant de 75 gal/d par pers. (340 l/d par pers.). Les effluents devaient être traités chimiquement afin d'éliminer le phosphore avant d'être rejetés dans le cours d'eau récepteur (Snake Island Lake).

Le fait que la quasi-totalité du coût en capital serait financé par subvention a emporté la décision finale : on a donc opté pour l'étang de stabilisation, solution pour laquelle les coûts d'exploitation annuels étaient les moins élevés. On avait estimé que les coûts d'exploitation de l'usine d'aération prolongée et de l'étang de stabilisation des eaux usées seraient respectivement de \$210 par an et de \$80 par an.

### **RÉSUMÉ**

Il y avait un sérieux problème de pollution et de santé publique dans le Township de Témagami. Prétendre corriger cette situation par l'installation de collecteurs d'égout gravitaires classiques, de stations de pompage et de conduites de refoulement aurait été trop onéreux. Compte tenu des désirs et des moyens financiers de la localité, la solution économique était de construire un réseau d'égouts sous pression, calorifugé et peu profond. On trouvera plus loin un tableau comparatif du coût des différents systèmes.

Malheureusement, l'aménagement de l'étang de stabilisation a été retardé d'environ huit mois, surtout à cause du mauvais temps.

Nous ne disposons encore d'aucune donnée d'exploitation nous permettant de comparer les prévisions au coût réel de l'exploitation du réseau de Témagami. À ce stade-ci du projet, on estime que le concept d'un réseau d'égouts sous pression, isolés et enfouis peu profondément est une solution viable au problème de l'aménagement, dans les régions nordiques, de services publics d'un coût raisonnable. Des études plus approfondies, entreprises grâce à une bourse de recherche accordée par le ministère ontarien de l'Environnement et la Société centrale d'hypothèques et de logement permettront sans doute de prouver la validité des hypothèses émises et de la solution proposée.

### **COMPARAISON ENTRE LES RÉSEAUX D'ÉGOUTS SOUS PRESSION ET LES RÉSEAUX GRAVITAIRES**

On trouvera ci-dessous un résumé des facteurs qui ont présidé au choix d'égouts sous pression plutôt que d'égouts gravitaires. Ce résumé n'inclut pas toutes les questions à considérer, mais seulement les éléments qui ont été retenus lors du projet de Témagami ainsi que ceux qui auraient dû l'être, comme on l'a découvert par la suite.

Comparaison des coûts des différentes options

Différentes options	Estimation des coûts de construction (\$ : 1978) traitement des eaux usées non compris	Coût type par maison (\$ : 1978)			Coût total en capital /maison (estimé)
		En capital	Coût d'exploit- tation par an	Coût d'exploit- tation capitalisé	
Réservoirs de stockage et transport par véhicule	\$1 250 000 – \$1 600 000	\$ 8 333 – \$10 666	\$963	\$17 344	\$25 667 – \$28 000
Systèmes de traitement des eaux usées à domicile	\$1 250 000 – \$1 600 000	\$ 8 333 – \$10 666	\$518	\$ 9 324	\$17 657 – \$19 990
Égouts gravitaires, stations de pompage et conduites de refoulement	\$1 716 835 (y compris 150 raccords à \$1 500 chacun)	\$11 445	\$ 55	\$ 990	\$12 435
Égouts sous pression isolés et enfouis peu profondément, unités de pompage-broyage	\$1 132 334	\$ 7 548	\$ 96,25	\$ 1 732	\$ 9 280

Remarques

- 1) Les estimations de frais de construction ont été mises à jour par rapport à celles du rapport 1974 de Proctor and Redfern Limited, au moyen de l'indice Southam des coûts de construction.
- 2) Les coûts de construction "estimatifs" pour l'option par égouts sous pression sont les coûts finaux.
- 3) Coût type par maison :
  - a) Le coût en capital est fondé sur 150 canalisations de branchement.
  - b) Les coûts d'exploitation annuels incluent les frais d'électricité et, le cas échéant, le coût du ruban chauffant.
  - c) Le coût d'exploitation capitalisé s'appuie sur les *Energy Conservation Guidelines for Sewage Works – October, 1977*, établies par le ministère ontarien de l'Environnement.
  - d) Le coût total en capital/maison (estimé) de l'option "égouts sous pression", ne comprend pas les frais d'installation de l'unité de pompage-broyage par le propriétaire. Ces frais peuvent varier de \$300 à \$800 l'unité selon l'emplacement, etc.

1) Toute évaluation doit comprendre une comparaison détaillée des coûts en capital et des coûts d'exploitation et d'entretien pour les deux options qui ont été étudiées.

2) Le coeur même d'un réseau d'égouts sous pression à usage domestique, c'est l'unité de pompage-broyage à chaque domicile, qui doit être sûre, qui doit pouvoir collecter et au besoin broyer les déchets, puis pomper les eaux usées jusqu'aux conduites principales sous pression.

3) Il existe deux grands types de systèmes d'égouts sous pression : unité de pompage-broyage (PB), ou pompage des effluents à partir d'une fosse septique (STEP). Ni l'une ni l'autre de ces solutions ne nécessite une modification de la plomberie à l'intérieur de la maison (l'une et l'autre permettent cependant de telles modifications quand elles sont souhaitables). La différence majeure entre ces deux options est la suivante : le système STEP implique l'emploi d'une fosse septique à deux cellules ainsi que l'emploi d'une unité de pompage centrifuge; dans le système PB, généralement, il n'y a pas de séjour en fosse septique avant le pompage — le système collecte toutes les ordures domestiques sans pré-traitement, et les broie à l'intérieur du cycle de pompage. La pompe employée dans le système PB est de type semi-volumétrique.

4) Le choix final du type de système à utiliser (STEP ou PB) doit être fait par un ingénieur qui devra tenir compte d'éléments comme la topographie, l'emplacement, la nature des installations de traitement, la disponibilité d'un personnel d'exploitation qualifié, etc.

5) Pour l'évaluation des coûts, le concepteur doit considérer les points suivants : type de système à employer (STEP ou PB), état des systèmes électriques existants, emplacement des pompes, approvisionnement en eau dans les maisons, type de structures à desservir, fiabilité de l'équipement de pompage à installer, incidence sur le milieu, exploitation et entretien des unités individuelles. Il doit également considérer tous les coûts directement encourus par les propriétaires (coûts de l'entretien et du remplacement des unités de pompage-broyage de chaque bâtiment).

6) L'installation du réseau nécessite évidemment une robinetterie et par conséquent la présence de compartiments de service permettant les réparations et l'entretien, etc. Cependant, les raccords et le nombre de structures doivent être réduits au minimum, surtout quand le réseau est enfoui peu profondément, comme à Témagami. En effet, chaque compartiment de visite implique des coûts supplémentaires, constitue un point de déperdition de chaleur et une possibilité de gel pour l'ensemble du réseau. Les mêmes remarques s'appliquent en ce qui concerne les robinets-vannes sur les canalisations de branchement. Selon l'auteur, chaque canalisation de branchement devrait être équipée d'un robinet-vanne ainsi que d'un clapet de retenue double pour que le système soit sûr et que chaque maison puisse être isolée en cas de besoin.

7) Les fabricants des systèmes de pompes à pression fournissent en général des indications relatives à la conception ainsi que des tables de pertes de charge. Dans la plupart des cas, ces fabricants utilisent une valeur Hazen-Williams de  $C=150$ . Les résultats de tests dont le ministère a pris connaissance indiquent que cette valeur est élevée et qu'il serait préférable de fonder les calculs hydrauliques sur la valeur plus prudente de  $C=130$ .

8) Sans aucun doute, la conception de la plupart des réseaux d'égouts sous pression, isolés et enfouis peu profondément, favorise l'utilisation de matériaux thermo-plastiques pour les canalisations. L'ingénieur doit s'assurer que la conception hydraulique du système est effectuée en fonction du matériau utilisé, et que le matériau de construction est choisi en tenant compte des propriétés thermiques des tuyaux en matière plastique. Il est recommandé d'employer de préférence des tuyaux en polyéthylène, qui peuvent être exposés à de basses températures, contrairement aux tuyaux en chlorure de polyvinyle. Les conduites en polyéthylène restent sensiblement plus souples et peuvent donc résister sans problème au gonflement provoqué par le gel, tandis que les conduites en chlorure de polyvinyle ont tendance à devenir cassantes et elles résistent moins bien aux chocs.

9) Les clauses générales du contrat doivent donc spécifier que le fournisseur du collecteur principal (conduite interne sous pression), est responsable de l'ensemble du matériel livré (conduite interne, mousse isolante, ruban chauffant, tube guide-fils, joints, etc.). Toute autre disposition contractuelle entraîne des négociations multiples, avec non pas un seul mais plusieurs fournisseurs, si des problèmes surviennent en cours de construction.

10) Les documents généraux du contrat doivent établir avec clarté les limites de l'engagement respectif du concepteur et du fournisseur, en ce qui concerne l'ensemble du collecteur isolé. S'il est nécessaire d'improviser à l'étape de la construction, le fournisseur du collecteur doit apporter sa participation.

11) L'expérience acquise par le ministère lors du projet de Témagami démontre qu'on ne devrait pas appliquer de mousse sur les joints, et ce pour les raisons suivantes :

a) Le processus de durcissement de la mousse s'accompagne de phénomènes exothermiques et peut donc endommager le ruban chauffant, l'ampoule ou le tube capillaire du thermostat à bulbe, si ces éléments se trouvent à proximité ou en contact avec la mousse durant le durcissement.

b) Une application irrégulière de la mousse peut se traduire par l'apparition de "points chauds" sur le ruban chauffant, ce qui pourra provoquer la rupture prématurée de celui-ci.

c) À moins d'obtenir une étanchéité à 100 p. cent entre le conduit du câble chauffant (tube guide-fils) et le collecteur, il est fort probable que la mousse pénètre dans le tube guide-fils, emprisonne le câble dans le guide-fils ou isole l'ampoule ou le tube capillaire de la paroi du tuyau, réduisant ainsi l'efficacité globale du système.

12) Dans la mesure du possible, on doit faire une soudure par fusion (abouchement ou emboîtement), pour sceller les sections de tuyau et les manchons de raccord.

13) On doit prendre garde de préciser dans les devis que tous les tubes guide-fils doivent être alignés à chaque joint et être placés en ligne droite. Ce point est essentiel pour assurer que le remplacement du câble se fera sans problème par la suite.

14) Le ruban chauffant ne doit pas être enroulé autour des éléments régulateurs ou des raccords. On doit faire une boucle à l'aide du câble excédentaire au niveau du robinet ou du raccord et la tirer sur le robinet ou le raccord. Ainsi, on pourra facilement retirer le câble en cas de besoin.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Ontario Ministry of the Environment, *Provincial Sewage and Water Works Programmes, Improvement District of Temagami Conceptual Design Report*, Proctor and Redfern Limited, experts-conseils et planificateurs, décembre 1974.
- 2) *Conceptual Design Transmittal for Temagami Sewage Works*, Ministry of the Environment, Ontario, projet n° 1-0274, James F. MacLaren Limited, experts-conseils, planificateurs et chercheurs, septembre 1976.
- 3) Ontario Ministry of the Environment, dossier d'approbation finale.

TROISIÈME SÉANCE  
APPLICATIONS TECHNIQUES

ÉVALUATION CRITIQUE DES RÉSEAUX DE CANALISATIONS  
SOUTERRAINES, ISOLÉES ET PEU PROFONDES,  
DANS LES TERRITOIRES DU NORD-OUEST

F.W. James  
Ministère des Travaux Publics  
Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Yellowknife, T.N.-O.

**INTRODUCTION**

Au cours des quatre ou cinq dernières années, dans les Territoires du Nord-Ouest (Canada), on a mis au point pour les services d'eau et d'égout un système et une méthode de conception adaptés aux conditions climatiques du Nord, c'est-à-dire au pergélisol continu ou discontinu (photographies 1 et 2).

L'historique des systèmes de canalisations dans les régions de pergélisol montre que les essais ont le plus souvent été infructueux et coûteux. Lorsqu'un ingénieur, au sud du 60<sup>e</sup> parallèle, pense aux réseaux de canalisations dans le nord du Canada, c'est l'image de l'utilidor de type Inuvik (figure 1), qui lui vient à l'esprit. À mon avis, ce modèle bien connu d'utilidor, posé en surface, appartient au passé et ne devrait plus être utilisé dans le Nord, puisque l'on dispose maintenant d'autres techniques.

Le système qui a remplacé l'utilidor est composé de canalisations individuelles d'eau et d'égout, souterraines mais peu profondes (figure 2), par opposition aux canalisations multiples placées dans un conduit au-dessus du sol.

En novembre 1978, la Division du génie civil du ministère des Travaux Publics (gouvernement des Territoires du Nord-Ouest), a parrainé un colloque à Yellowknife pour essayer de normaliser et d'améliorer les réseaux de canalisations souterraines et isolées, qui existent actuellement dans les diverses localités des Territoires du Nord-Ouest.

Le colloque a réuni des conseillers, des entrepreneurs, des employés des services régionaux d'exploitation et d'entretien, des fournisseurs et des ingénieurs. Ensemble, les participants ont examiné les problèmes passés et les améliorations proposées, avant de se pencher sur les travaux de conception pour 1979. L'étude et les recommandations, exposées ici au sujet des réseaux de canalisations souterraines isolées, sont en grande partie tirées soit des discussions menées pendant le colloque, soit des tests et essais de nouvelles méthodes qui ont suivi les discussions.

Des réseaux de canalisations souterraines peu profondes ont été installés (ou sont en voie d'installation) à Norman Wells, Resolute, Frobisher Bay, Rankin Inlet et Fort Rae. Ces régions couvrent la gamme complète des conditions rencontrées dans le Nord : des sols riches en glace aux sols de gravier, du pergélisol discontinu au pergélisol continu, des régions au sud de la limite de la végétation arborescente jusqu'à la zone arctique.

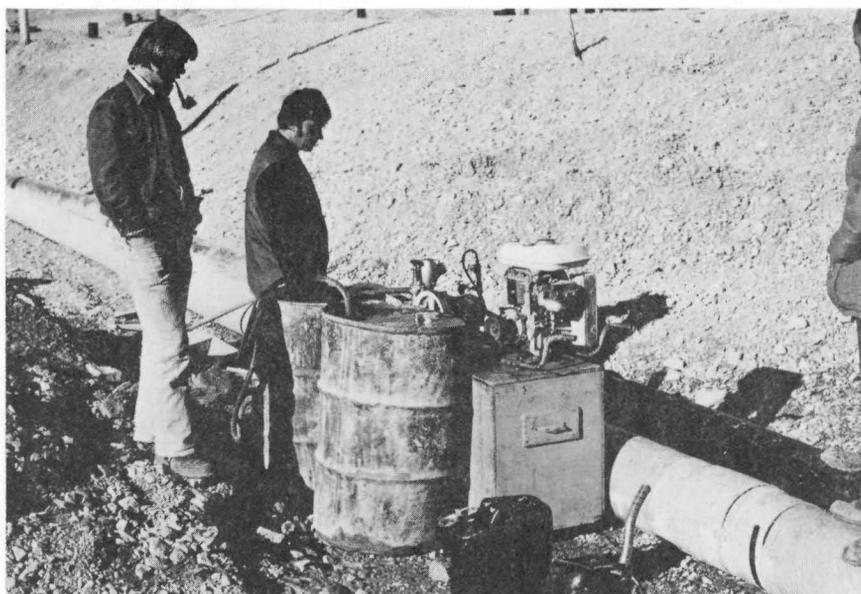
**DESCRIPTION D'UN RÉSEAU**

Notre description d'un réseau de canalisations enfouies à faible profondeur comprend les aspects suivants : mode de fonctionnement; objectifs du système; composantes.

**Mode de fonctionnement.** — Ce type de réseau comporte une canalisation unique avec recirculation : une ou plusieurs boucles ininterrompues partent d'une station de recirculation et y retournent sans alimenter de boucle secondaire (voir figure 3). L'eau est portée à la température voulue à la station de recirculation avant d'être distribuée. Le réseau est conçu de telle sorte que la distribution d'eau soit facilement contrôlée; il suffit, à cet égard, d'installer des indicateurs de débit et de température sur les canalisations de retour à l'endroit où celles-ci rejoignent la station de pompage. Une pompe de secours et un groupe électrogène de rechange sont prévus.



Photographie 1 Conduite maîtresse isolée, Resolute Bay, T.N.-O., 1978



Photographie 2 Conduite maîtresse et collecteur d'égout dans un conduit isolé

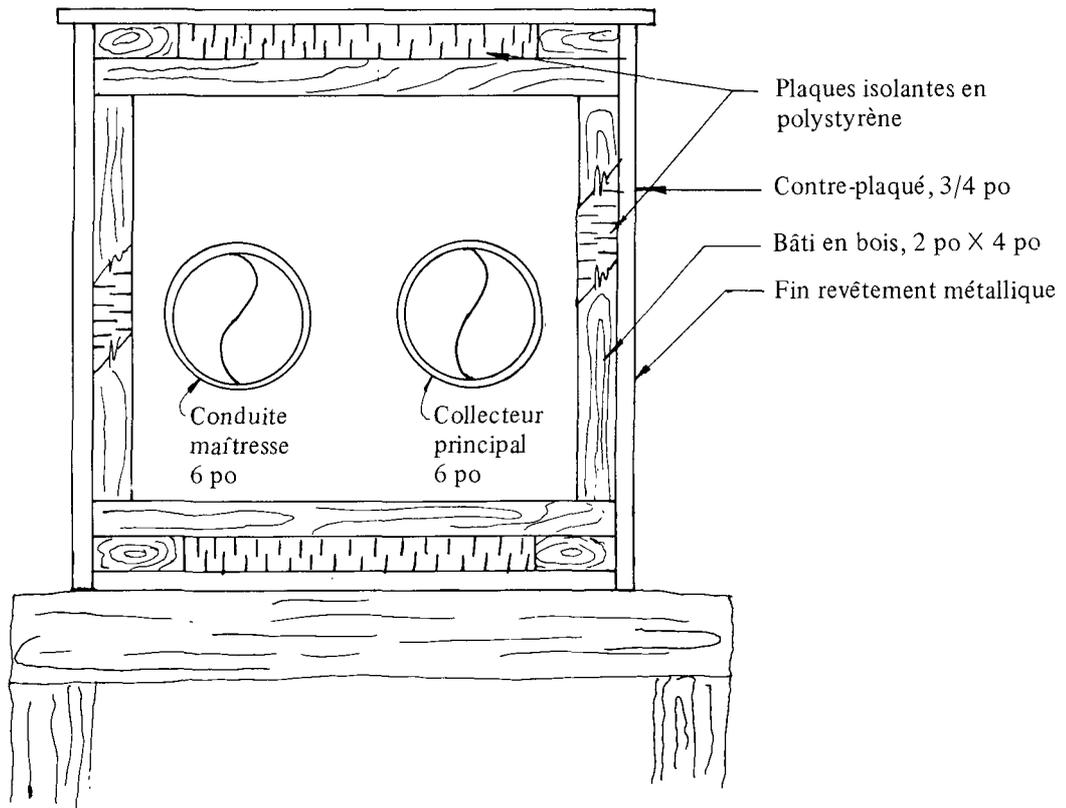


Figure 1 Inuvik, 1956

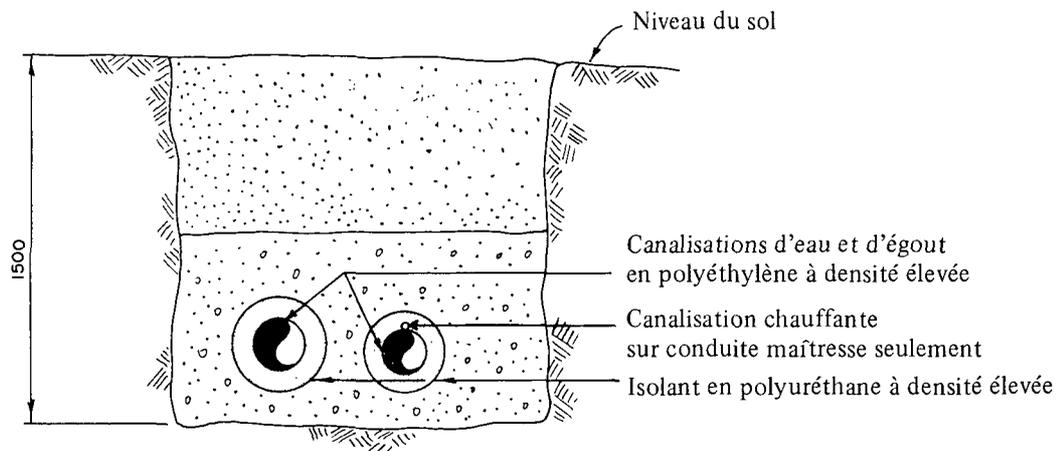


Figure 2 Détail de canalisations enfouies, Frobisher Bay, 1979

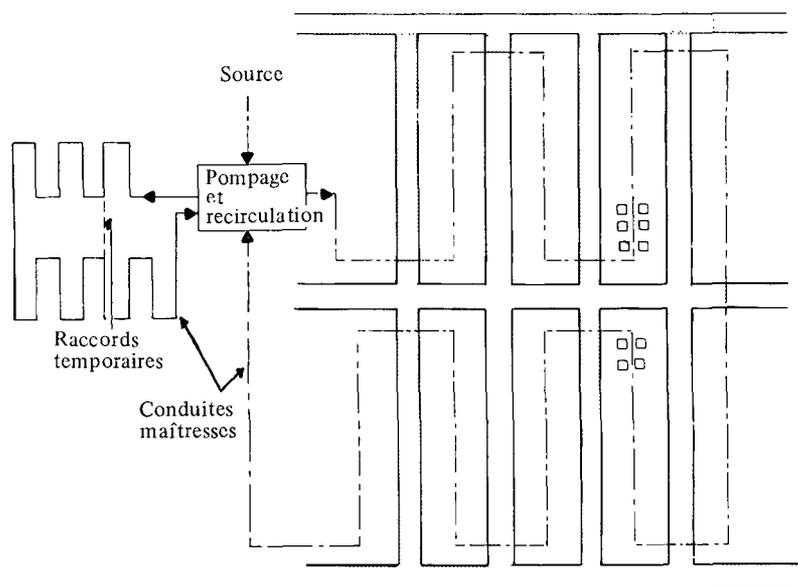


Figure 3 Aménagement et emplacement des conduites maîtresses dans un réseau à canalisation unique avec recirculation

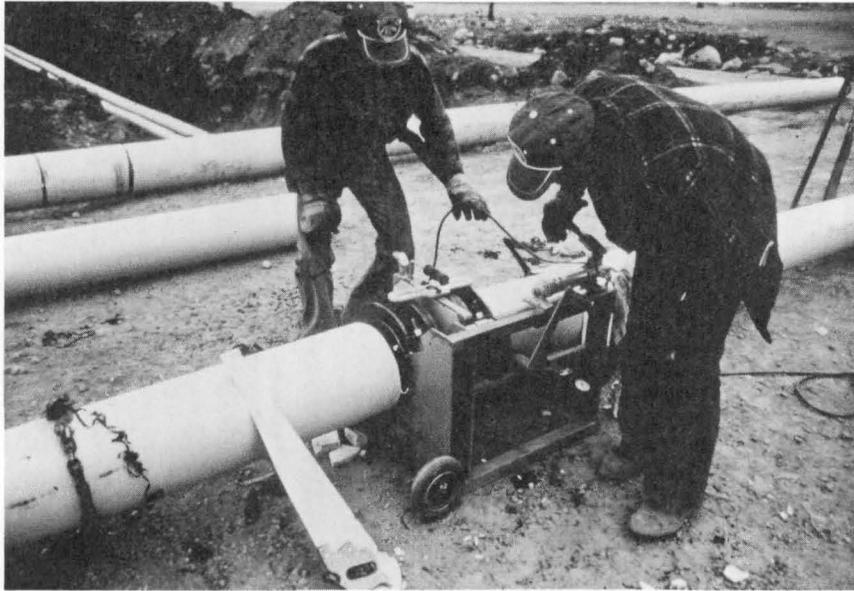
Le mode de fonctionnement des égouts est le même que pour un réseau gravitaire classique.

**Objectifs du système.** – Un réseau de canalisations souterraines doit répondre aux exigences suivantes :

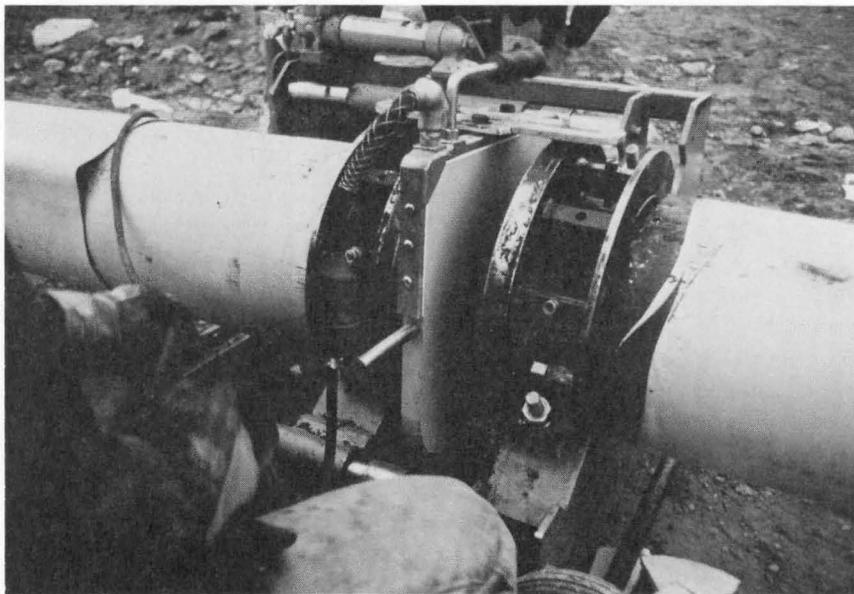
- présenter une consommation minimale d'énergie lors de l'exploitation;
- présenter un fonctionnement simple et un entretien facile;
- être protégé contre les dommages mécaniques, le vandalisme et les conditions climatiques rigoureuses;
- comporter un mécanisme principal de protection contre le gel et au moins un mécanisme auxiliaire, sinon deux;
- pouvoir être vidangé;
- présenter une durée de vie utile d'au moins 20 ans;
- permettre facilement et à longueur d'année l'isolement d'une section et d'une canalisation de branchement;
- réduire au minimum la main-d'oeuvre locale requise;
- permettre une exploitation maximale de la brève saison de construction;
- respecter toutes les exigences énumérées ci-dessus et rester économique.

**Composantes du système.** – Les principales d'entre elles sont décrites ci-après.

Les conduites principales d'eau et d'égout sont des canalisations souterraines uniques, isolées et mises en lit dans une même tranchée. Les conduites sont en polyéthylène à poids moléculaire élevé, avec un isolant en polyuréthane à densité élevée, appliqué en usine (voir figure 4). La surface extérieure de l'isolant est recouverte d'une enveloppe imperméable en plastique extrudé. De plus, les conduites doivent être dotées d'au moins un dispositif de protection contre le gel. De tels dispositifs comprennent les rubans chauffants, les canalisations chauffantes, les fils de dégel et les purges. Les conduites d'eau et d'égout font l'objet d'essais de pression et sont soudées bout à bout (voir photographies 3 et 4).



Photographie 3 Conduite en polyéthylène à densité élevée, avec isolant en polyuréthane à densité élevée, appliqué en usine



Photographie 4 Conduites soudées bout à bout (abouchement)

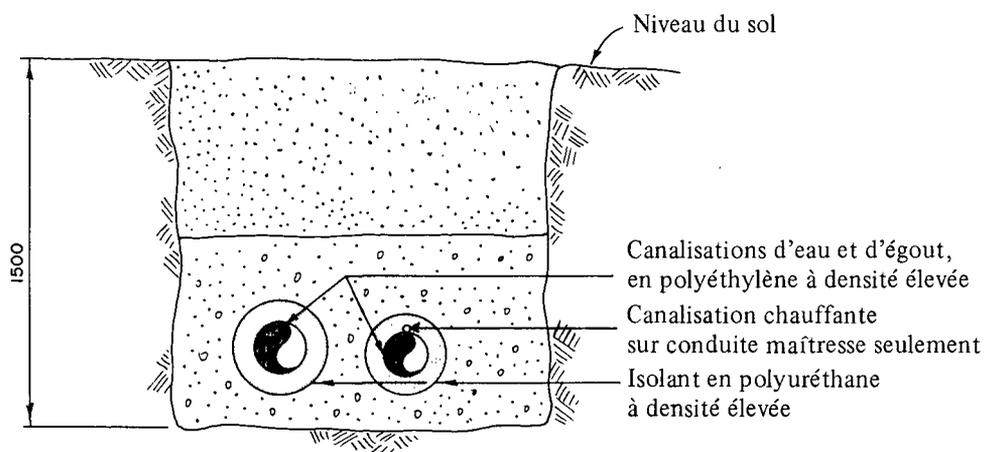


Figure 4 Détail de canalisations enfouies

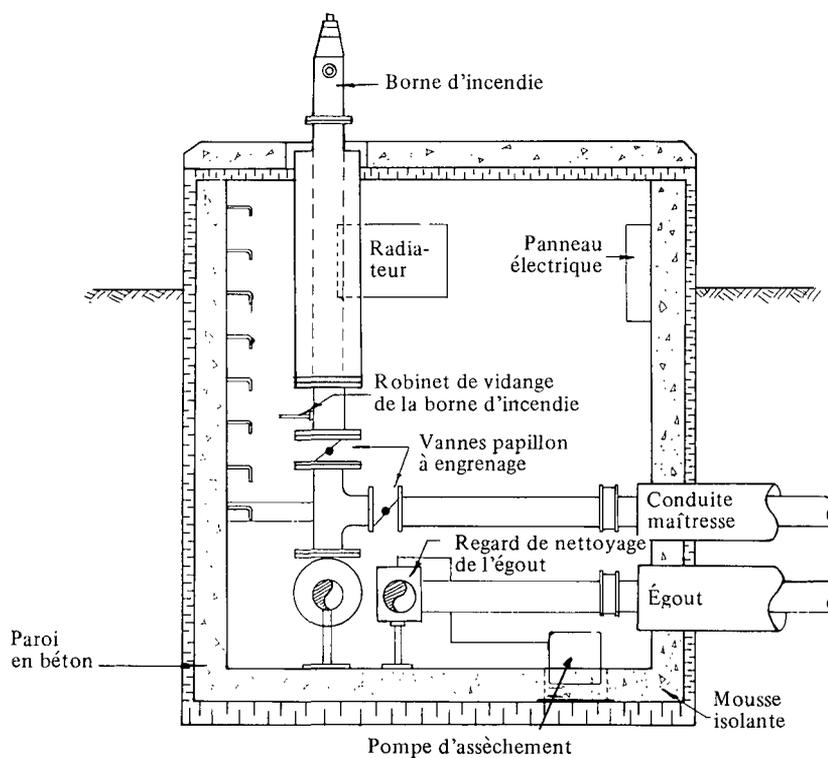


Figure 5 Regard de visite servant de mini-centre d'entretien

Des regards de visite (mini-centres d'entretien), séparés l'un de l'autre par une distance maximale de 100 m, sont intégrés au réseau. Le principe de base de ce type de regard est qu'il permet l'entretien quotidien des conduites maîtresses dans un environnement protégé. Cette opération comprend l'entretien des éléments régulateurs des conduites maîtresses, des prises d'eau, de la source d'alimentation du câble chauffant, et des regards de nettoyage des égouts.

Les branchements particuliers s'effectuent par l'intermédiaire d'une conduite d'amenée comportant une canalisation d'égout de 100 mm, deux canalisations d'eau de 25 mm et un ruban chauffant, le tout protégé par un isolant. Les dispositifs d'arrêts principaux et secondaires sont combinés et placés aussi près que possible de la conduite maîtresse. Les compartiments de service (boîtes à robinets), sont installés en surface pour faciliter l'isolement des branchements particuliers (voir photographie 5 et figure 6).

**Conclusion.** — On remarque que ce système diffère grandement des réseaux de distribution standards du Sud, ce qui est tout à fait normal. Les conditions qui prévalent dans le Nord nécessitent la mise au point de solutions et de normes nouvelles, et cette recherche ne devrait pas être freinée par les normes établies pour des climats plus tempérés.



Photographie 5      Branchements particuliers par l'intermédiaire d'une conduite d'amenée

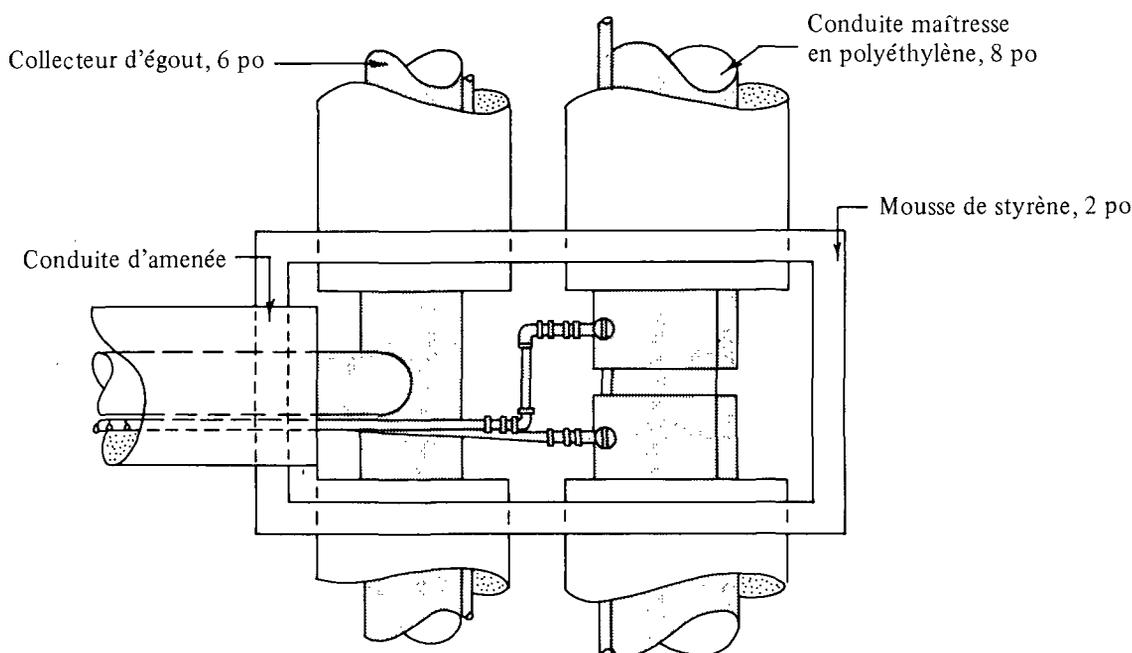


Figure 6 Compartiment de service d'une prise de branchement

### Évolution des réseaux de canalisations souterraines dans les Territoires du Nord-Ouest

Pour comprendre comment on en est venu à adopter l'idée d'un réseau souterrain et pour apprécier les recommandations qui suivent, il est important de faire rapidement l'historique des services d'eau et d'égout dans les Territoires du Nord-Ouest.

Avant 1972, les réseaux de canalisations utilidor, à coffrage en métal ondulé ou en bois, prévalaient dans les régions de pergélisol. La plupart des réseaux étaient situés en surface, ce qui posait de sérieux problèmes de construction, d'exploitation et d'entretien des systèmes (voir figure 7 et photographies 6 et 7). Les utilidors au-dessus du sol étaient supportés par des pilotis. Lorsqu'ils étaient à fleur de sol ou juste en dessous, il était courant que des fuites et des infiltrations d'eau se produisent, qui détérioraient l'isolant (photographies 8 et 9). Pour que ces réseaux soient satisfaisants, un fort apport d'énergie était indispensable.

L'utilidor type n'avait pas de regard de service, mais il était pourvu de compartiments de service pour les robinets, prises d'eau, regards de nettoyage d'égout, etc. (photographies 11 et 12). Avoir à travailler dehors, au beau milieu de l'hiver, pour réparer une section du réseau n'était guère réjouissant. Le plus souvent, lorsqu'on effectuait des réparations dans ces conditions, les différents éléments du système n'étaient pas remis en place tout à fait comme ils auraient dû l'être.

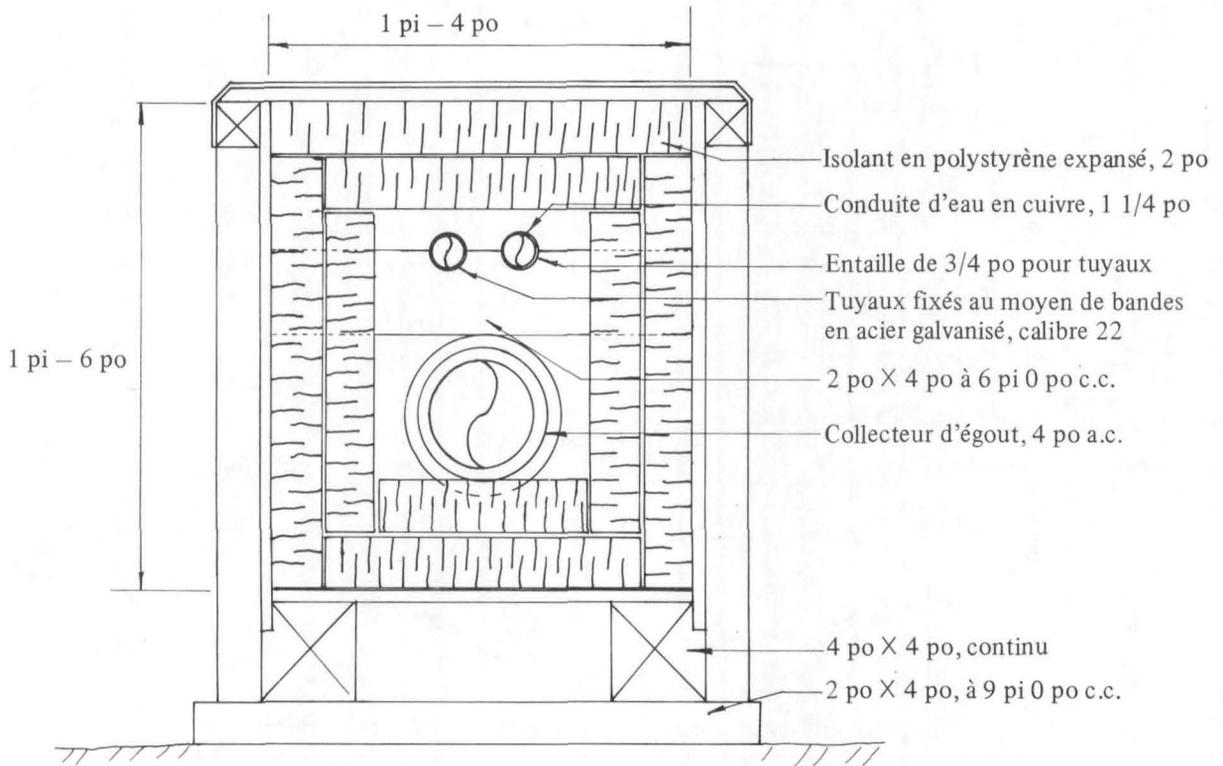
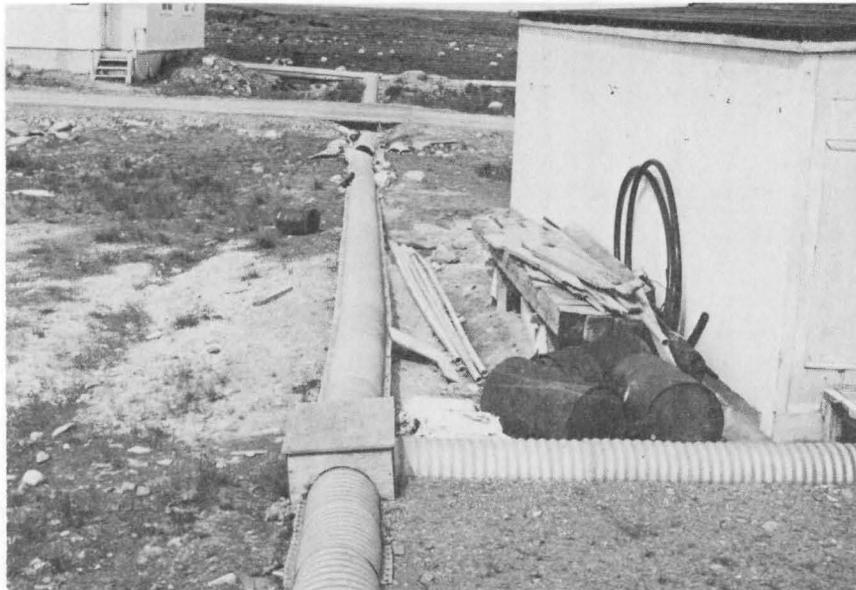


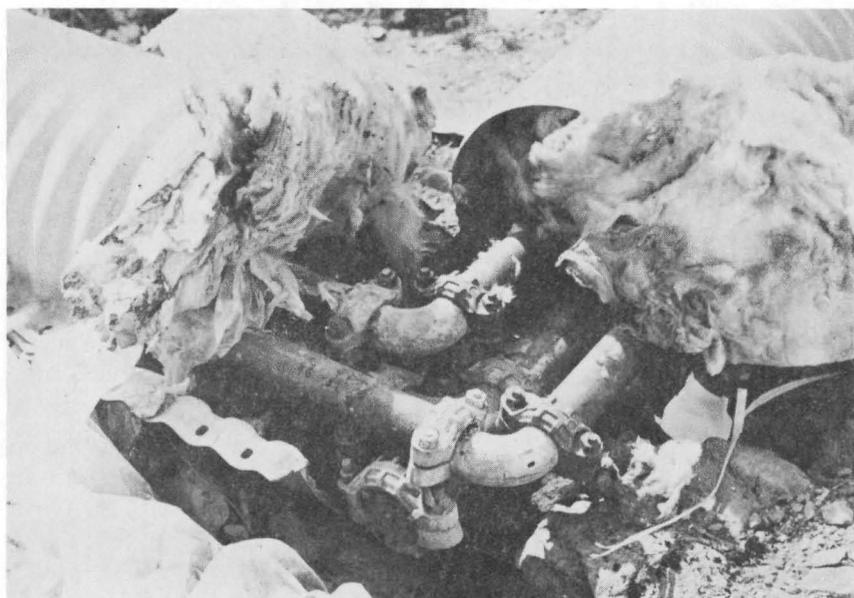
Figure 7 Fort McPherson, 1960



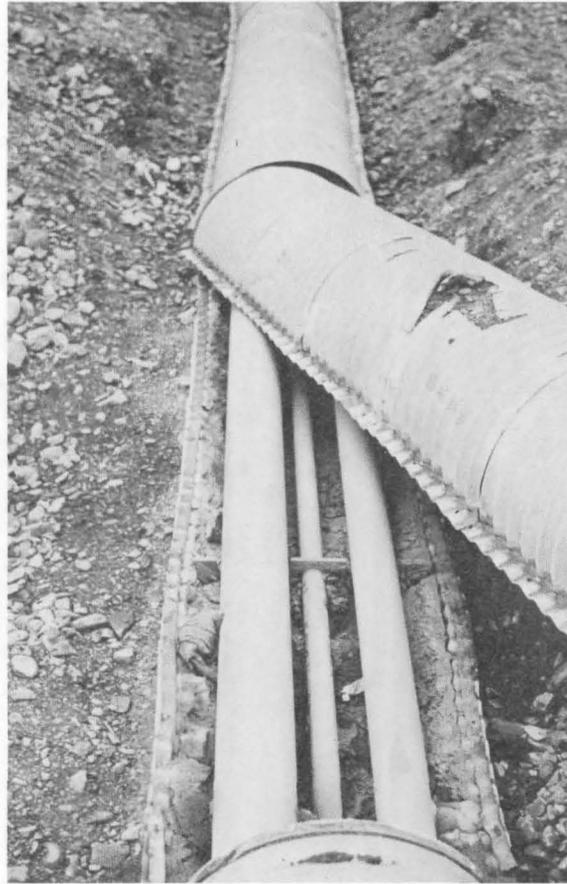
Photographie 6 Utilidor en métal ondulé, avant 1972



Photographie 7 Utilidor avec coffrage en bois, avant 1972



Photographie 8 Isolant détérioré par infiltration d'eau



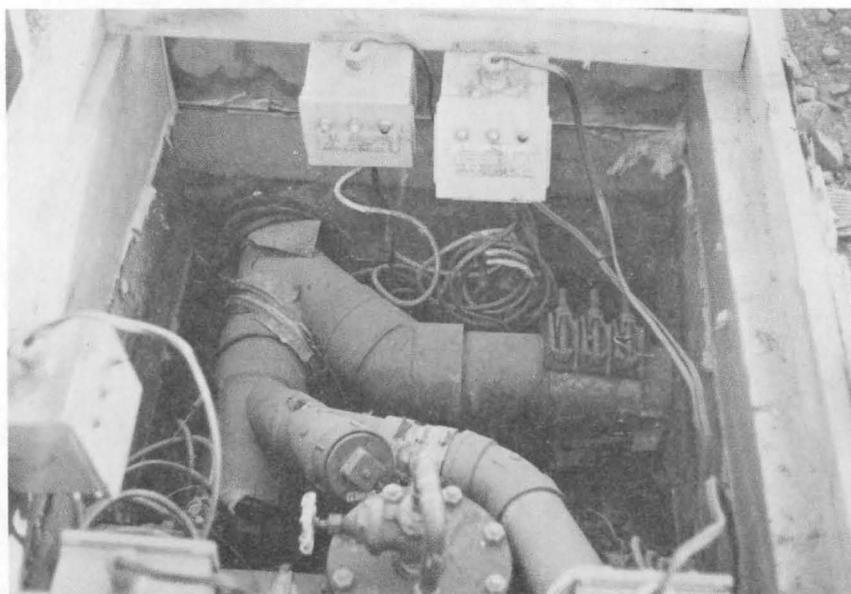
Photographie 9 Isolant détérioré par infiltration d'eau



Photographie 10 Regard de service et prise d'eau avec raccord à deux voies



Photographie 11 Regard de service en métal ondulé



Photographie 12 Compartiment de service (voûte)

L'utilidor de Norman Wells, construit en 1972, est un exemple classique : le soulèvement des pilotis par le gel étant considérable, cet utilidor aurait dû être remplacé dès 1979. Une seule chose le maintient en service : le chauffage à la vapeur (figure 8).

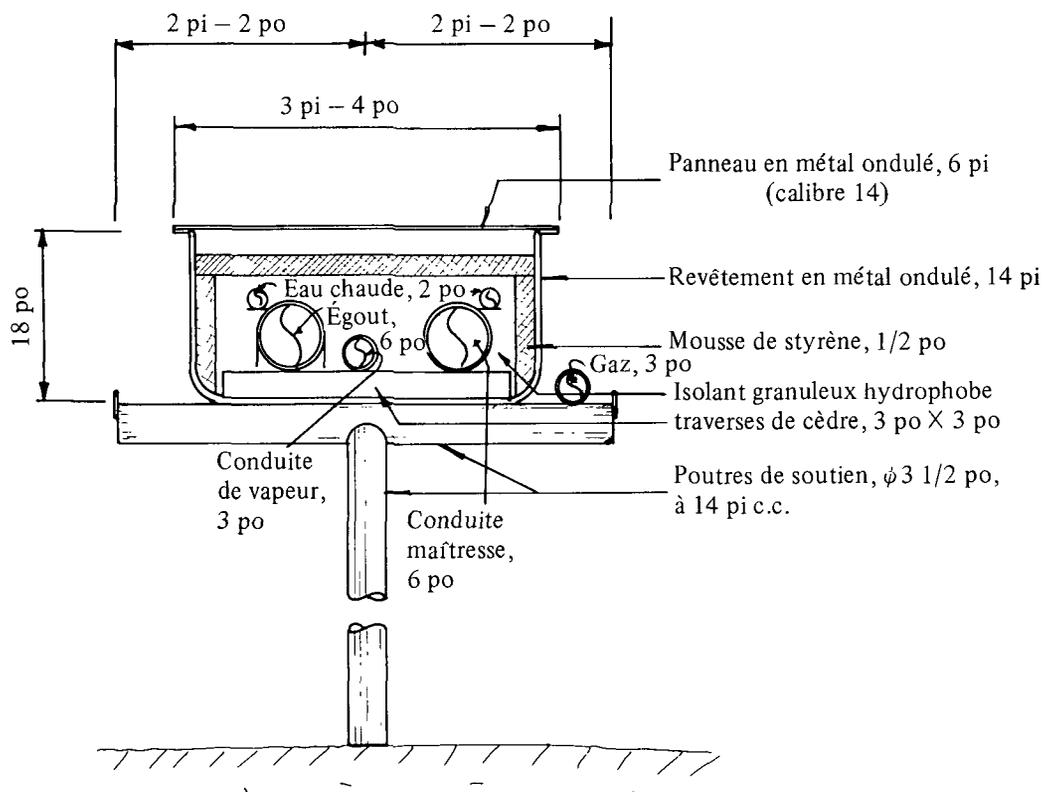


Figure 8 Norman Wells, 1972

Un utilidor souterrain en métal ondulé a été construit à Rankin Inlet en 1974. Cet utilidor avait des regards de service avec revêtement en métal ondulé et isolant en mousse de polyuréthane épais de 50 mm. Les canalisations d'eau et d'égout passaient dans les regards de service, et les conduites d'égout étaient munies de regards de nettoyage fermés. Le système tout entier s'est changé en un immense égout pluvial à cause du volume d'air entre les tuyaux, de la structure extérieure isolée et à cause de l'infiltration illimitée. Si l'on empêchait l'eau de s'écouler, elle gelait autour des tuyaux; si on la laissait s'écouler, l'isolant se détériorait graduellement. Par ailleurs, les regards de service, d'un diamètre de 1 m et d'une profondeur de 1 m, étaient trop petits pour que les employés puissent y travailler dans les conditions climatiques qui prévalent dans le Nord (et avec les lourds costumes d'hiver), (figure 9, photographies 13, 14, 15 et 16).

Les prises d'eau du système étaient enfermées dans un compartiment séparé, et elles étaient reliées à la conduite maîtresse par un raccord à deux voies. Malheureusement, la longue tige partant des conduites maîtresses posait continuellement des problèmes qui étaient dus au gel (voir photographie 10 et figure 10).

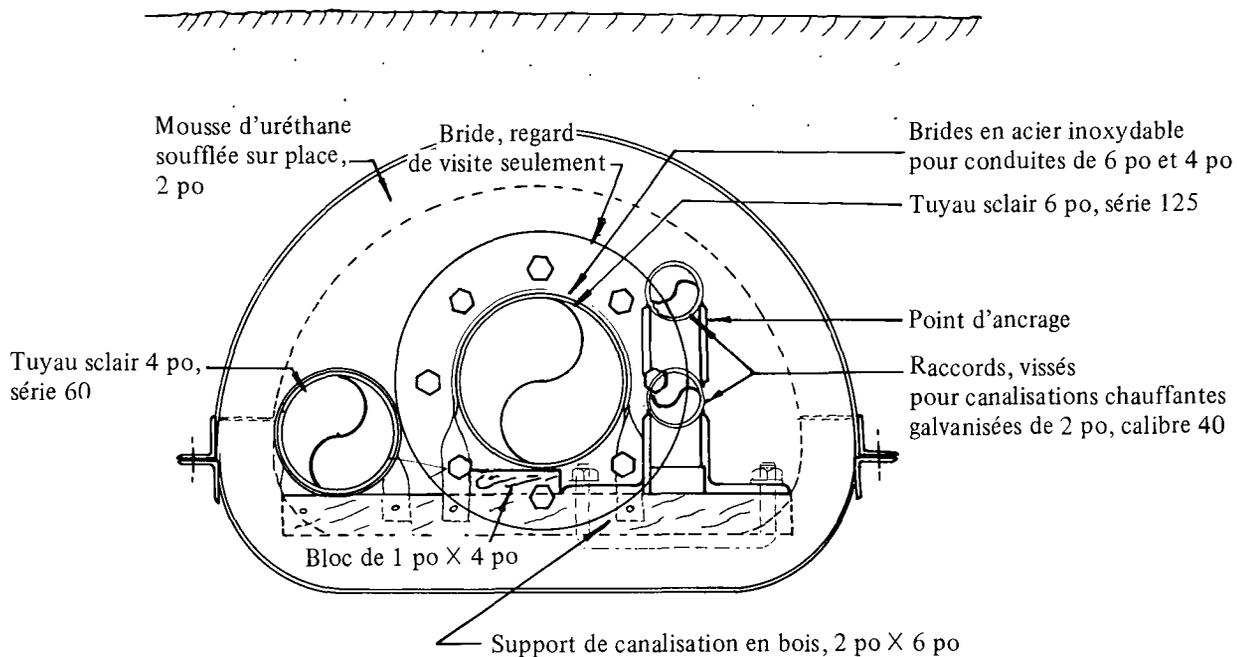


Figure 9 Rankin Inlet, 1974

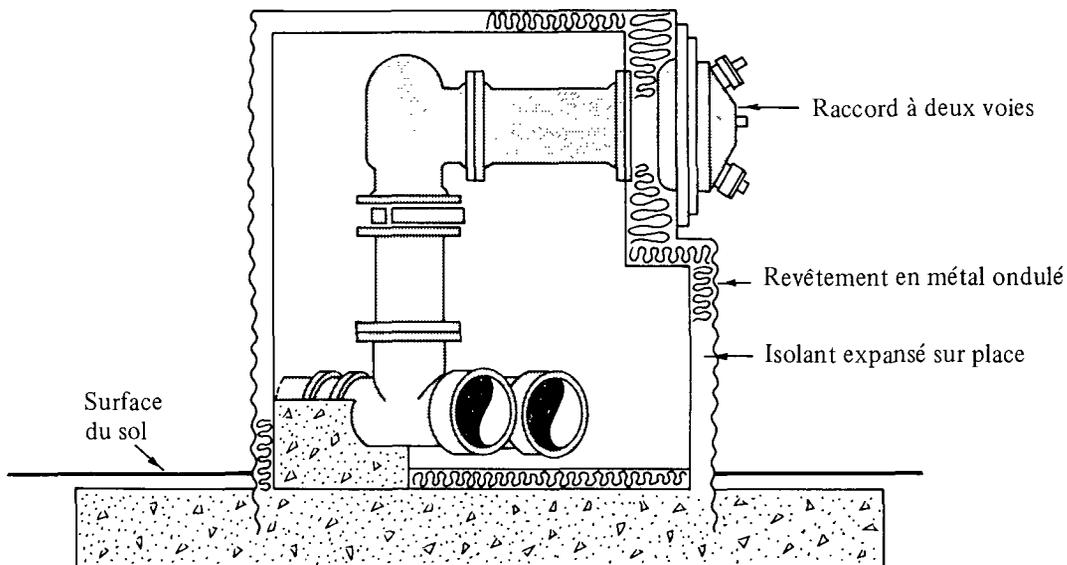


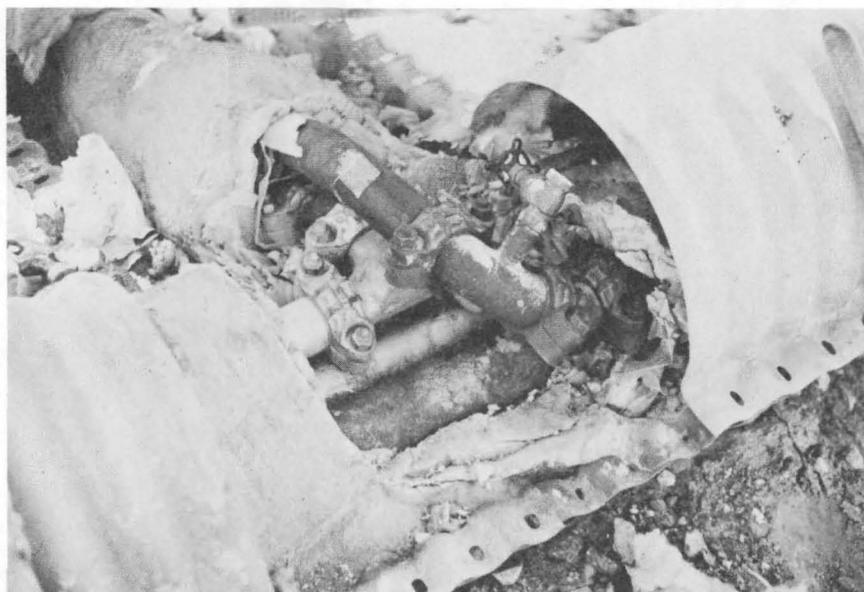
Figure 10 Prise d'eau avec raccord à deux voies



Photographie 13 Utilidor souterrain en métal ondulé, Rankin Inlet, 1974



Photographie 14 Branchement particulier



Photographie 15    Branchement avec isolant détérioré



Photographie 16    Regard de service rempli d'eau et de débris

Après cet utilidor en métal ondulé, en 1975, on a installé à Rankin le premier réseau de canalisations enfouies à faible profondeur et isolées séparément, de nouveau avec des regards de service en métal ondulé et de nouveau avec des problèmes d'infiltration et de manque d'espace. Les prises d'eau étaient situées à l'extérieur, sur la canalisation équipée de deux robinets d'isolement (voir photographie 17).

La prise d'eau ne pouvant être vidangée, on devait la saturer de propylène-glycol pour qu'elle ne gèle pas en cas de fuites. Un autre problème venait de la double robinetterie de ce type de prise d'eau, car il était difficile d'y accéder pour les réparations et l'entretien. De plus, il fallait attendre les pompiers volontaires chargés de remplir les bouches d'eau d'une solution de propylène-glycol après utilisation.

Le réseau tendait à fonctionner selon le principe d'une canalisation unique avec recirculation d'eau, mais vu le nombre important de branchements, le réseau était vulnérable au gel.

La première phase de l'expansion du réseau de Frobisher Bay, en 1976 (photographie 18), pour laquelle on a utilisé des regards de service en béton préfabriqué, a marqué une nouvelle étape dans l'histoire des réseaux de canalisations. Toutes les autres composantes du système, les prises d'eau par exemple, étaient semblables à celles du réseau de Rankin Inlet en 1975. À Frobisher Bay, les regards de service étaient dotés d'égouts à ciel ouvert à gradins, et les canalisations d'eau qui passaient dans les regards étaient partiellement jointoyées. Ces regards de service étaient nettement supérieurs du point de vue de l'espace de manoeuvre. Toutes les infiltrations pouvaient être retirées des égouts ouverts. Ce type de regard comprenait également un radiateur électrique ainsi que tous les panneaux et terminaisons électriques pour les rubans chauffants. Mais l'atmosphère intérieure étant continuellement humide, tous les raccords électriques (antidéflagrants), ont rapidement été attaqués par la corrosion (photographie 19).

En 1977, à Resolute Bay, on a utilisé une fois de plus des regards carrés en béton. Mais cette fois la vidange d'eau se faisait automatiquement, comme pour les bouches d'eau normales, vers un puisard, où l'eau était pompée dans la conduite d'égout fermée à travers un clapet spécial de non retour. Des regards de nettoyage d'égout fermés étaient prévus dans les regards de visite, qui renfermaient aussi tous les points de commande des rubans chauffants et un système de chauffage électrique. Les problèmes posés par les prises d'eau diminuèrent, mais ceux qui étaient liés aux infiltrations dans le système électrique et dans les regards de visite restaient considérables, à tel point que la pompe d'assèchement ne suffisait pas lors du dégel de printemps.

À partir du réseau de canalisations isolées séparément de 1975, toutes les installations décrites ci-dessus étaient équipées de rubans chauffants pour les conduites d'eau comme pour les conduites d'égout. Tous les premiers utilidors étaient équipés de tuyaux en polyéthylène à densité élevée à l'exception de Norman Wells (tuyaux d'acier soudés en continu de calibre 80) et de la première des deux phases de Frobisher Bay (tuyaux en fonte ductile).

Les coûts associés aux systèmes de chauffage électrique des canalisations étaient très élevés. Le coût initial, tout bien considéré, s'élevait à environ \$60 par mètre. Si le fonctionnement des thermostats était gêné par l'humidité ou parce que les capteurs n'étaient pas situés aux bons endroits (comme ce fut souvent le cas), le coût de l'électricité, d'abord de \$0,10 à \$0,15/kWh, montait en flèche. De plus, après une année d'exploitation, on a constaté que de nombreux circuits étaient brûlés ou défectueux.

L'utilisation des rubans chauffants comme système auxiliaire de protection contre le gel a été remise en question parce qu'on les jugeait peu fiables et coûteux à l'achat, à l'exploitation et à l'entretien. De 1975 à 1978, on a constaté qu'un réseau de recirculation à une seule boucle pourvu d'un générateur d'urgence et de pompes auxiliaires s'était révélé assez protégé contre le gel pour qu'on n'ait pas à recourir UNE SEULE FOIS aux rubans chauffants.

Cependant, on est toujours à la recherche d'un système auxiliaire de dégel électrique en cas de gel total des conduites. Un tel système devrait permettre de dégeler facilement les canalisations, à un coût minimal, et sans endommager le réseau. Le polyéthylène présente l'avantage de résister à des cycles de gel-dégel, sans dommage pour le tuyau. Mais il s'agit là d'un matériau plastique, ce qui limite le nombre de méthodes de dégel qu'on peut appliquer. Les méthodes qui font intervenir une chaleur extrême, comme le dégel par vapeur ou l'utilisation d'une machine à souder, ne sont pas à conseiller. Les rubans chauffants sont possibles, mais cette méthode est onéreuse. Le tout est de connaître le degré de protection contre le gel dont on a véritablement besoin.

En 1977, on utilisait les rubans chauffants uniquement pour les canalisations d'eau (et non pas pour les canalisations d'égout). Un programme de surveillance mené dans les premières années d'exploitation des réseaux a montré que la température moyenne des égouts dans les faisceaux de conduites isolées excédait 10 °C. Il fallait au



Photographie 17 Premier réseau de canalisations enfouies à faible profondeur et isolées séparément, Rankin Inlet, 1975



Photographie 18 Regard de service en béton préfabriqué, Frobisher Bay, 1976



Photographie 19 Regard de service en béton préfabriqué, Frobisher Bay, 1976

moins 24 heures pour que les conduites gèlent en cas de blocage : le refoulement des eaux d'égout devait donc donner l'alarme bien avant que le gel n'attaque les conduites. Au cours des deux dernières années, les rubans chauffants en place n'ont pas été utilisés pour les canalisations d'égout et il n'y a pas eu de problème de gel des conduites principales.

En 1978, à Frobisher Bay et à Fort Rae, des tubes de dégel ont été intégrés aux conduites maîtresses, ce qui a permis de retirer les rubans chauffants (photographie 20 et figure 11).

Les tubes de dégel qui remplacent les rubans chauffants sont des conduits de 25 mm en polyéthylène à densité élevée; ils sont placés sur le haut de la canalisation maîtresse et vont de regard de service en regard de service. Un ciment servant au transfert de chaleur est appliqué à l'interface entre le tube de dégel et la conduite principale, de façon à fournir une plus grande surface de transfert de chaleur. Les tubes de dégel vides sont fixés à l'intérieur des regards de services. Ceux-ci sont équipés d'un robinet d'eau de 19 mm installé sur la conduite maîtresse; un boyau suspendu à l'intérieur de la voûte complète l'équipement nécessaire pour effectuer l'une des opérations suivantes, selon les besoins : raccorder la conduite maîtresse au tube de dégel, ou raccorder deux tubes de dégel, ou relier un tube de dégel au radiateur avant de le raccorder à un autre tube de dégel.

Avant 1978, nous pensions que le système des tubes de dégel permettrait plus de souplesse, tout en fournissant la protection nécessaire contre le gel et en minimisant le coût initial et les coûts d'exploitation. Nous l'avons donc appliqué dans deux des quatre grandes installations construites en 1978.

Les tubes de dégel peuvent être employés à plusieurs fins.

**Dérivation de la canalisation principale.** — Il faut faire une dérivation lorsqu'on travaille sur une canalisation principale et qu'on doit maintenir le service et la circulation dans la conduite. La dérivation peut se faire simplement en raccordant la conduite au tube de dégel puis en reliant de nouveau le tube de dégel à la conduite, dans le regard de service suivant. Des robinets d'isolement sont placés sur la conduite principale, tous les deux regards de service.

**Dégel de la canalisation principale.** — Dans ce cas, on utilise deux pièces d'équipement fournies avec le système. La première, une unité de chauffage électrique d'une puissance de 3 000 kW et d'un poids de 16 lb environ, est suspendue à l'intérieur du regard de service. On connecte à l'élément chauffant une conduite d'eau



Photographie 20 Tube de dégel autour de conduites d'eau et d'égout, avec enveloppe isolante

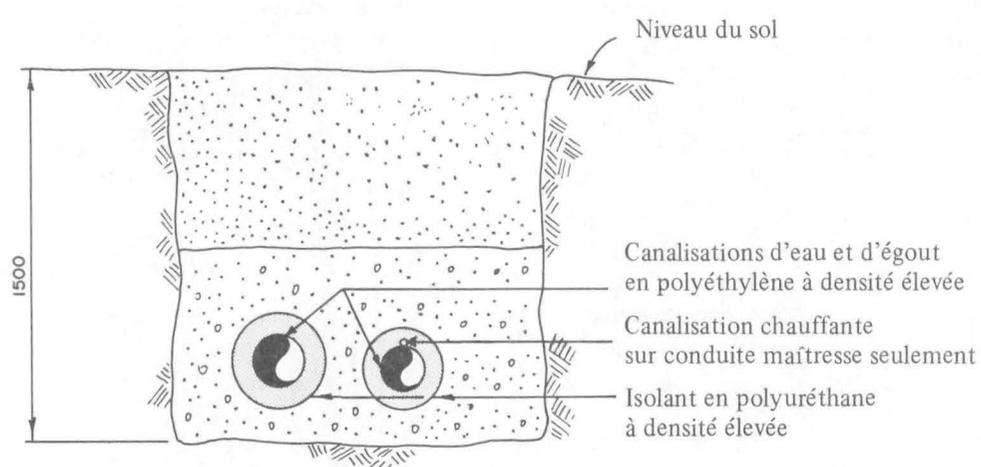


Figure 11 Détail de canalisations enfouies

qui n'est pas gelée (par l'intermédiaire du raccord pour tuyau placé sur la conduite), puis on raccorde l'élément chauffant au tube de dégel. Un contrôleur de débit, limitant le débit à 2 l/mn est placé à la sortie de l'élément chauffant. Cet élément chauffant est branché sur une prise électrique, installée dans chaque regard de service à des fins d'entretien. L'eau qui sort du tube de dégel, dans le regard de service suivant, est refoulée vers la canalisation d'égout à l'aide d'une pompe d'assèchement. Des calculs théoriques indiquent qu'une conduite d'eau de 150 mm, d'une longueur de 100 m, entièrement gelée à  $-5^{\circ}\text{C}$ , peut être complètement dégelée et portée à une température de  $1^{\circ}\text{C}$  en 26 heures environ. Pour obtenir le même résultat à l'aide d'un ruban chauffant de 4 W/pi, inséré dans un tube de dégel, il faudrait environ dix jours.

**Utilisation du ruban chauffant dans le tube de dégel.** — Le ruban chauffant est utilisé lorsqu'une section morte (recirculation nulle) est remise en service en dehors d'une boucle principale, à laquelle elle sera intégrée par la suite. Le ruban chauffant contrôlé par thermostat peut être inséré dans le tube de dégel, et être éventuellement retiré lorsque la section sera rattachée à la boucle de circulation.

**Utilisation du tube de dégel comme conduite de retour.** — On peut utiliser le tube de dégel comme conduite de retour, conjointement avec une pompe de circulation pour les réseaux du type de celui décrit ci-dessus (canalisation unique avec recirculation). Dans ce cas, ce n'est pas un ruban chauffant mais la recirculation d'eau qui fournit la protection antigel : l'eau est renvoyée dans le cul-de-sac via le tube de dégel et une pompe de circulation, vers la boucle principale de circulation. Cette technique convient uniquement aux installations temporaires ou aux très petits branchements, quand on ne peut faire autrement.

**Utilisation du tube de dégel comme conduite porteuse.** — On peut utiliser le tube de dégel comme conduite porteuse, pour acheminer de l'eau chaude venant de l'extérieur. Dans ce cas, on ne se sert pas de l'élément chauffant mais d'un gros générateur d'eau chaude fonctionnant au mazout, ce qui permet de dégeler très rapidement les canalisations sur de grandes longueurs.

L'expérience que nous avons du système des tubes de dégel (elle s'appuie surtout sur les résultats du projet de Frobisher Bay), nous amène une fois de plus à nous questionner sur le besoin d'un système auxiliaire comme les rubans chauffants. Étant donné que le système principal s'est révélé satisfaisant pendant tout un hiver (dont 2 semaines des plus violentes tempêtes), nous n'avons pas eu l'occasion de tester les tubes de dégel. Il nous est donc impossible de juger de leur efficacité en situation de crise et nous espérons ne jamais avoir à le faire. Nous procéderons pourtant très bientôt à des essais sur le réseau de Fort Rae : nous laisserons geler certaines sections qui ne sont pas en service, pour ensuite les dégeler.

## ÉVALUATION DU SYSTÈME

Avec les éléments énumérés ci-dessus présents à l'esprit, les problèmes actuels posés par les composantes du système et les solutions à envisager seront examinés en détail. Des recommandations finales seront aussi faites en ce qui concerne les normes à appliquer dans les Territoires du Nord-Ouest concernant les réseaux de canalisations isolées et enfouies peu profondément.

**Conduites principales d'eau et d'égout.** — Deux systèmes de dégel sont couramment utilisés pour les canalisations en polyéthylène : rubans chauffants électriques et tubes de dégel.

- **Rubans chauffants**

Avantages — contrôle continu de la température

Inconvénients — coût initial élevé : \$60/m  
— coût d'exploitation élevé  
— fiabilité douteuse.

- **Tubes de dégel**

Avantages — faible coût initial : \$6/m

— s'adaptent facilement à plusieurs situations

— faible coût d'exploitation : à Frobisher Bay (nov. 1978), il en coûte environ \$500 par bloc d'alimentation électrique pour faire passer des rubans chauffants de regard de service en regard de service alors qu'avec des tubes de dégel, le coût n'est que de \$45 (pour la même longueur de canalisation et pour la même période).

Inconvénients — mise en marche manuelle, et non automatique.

Autres solutions considérées :

- Apport de chaleur à l'intérieur de la conduite. — Cette méthode a été essayée avec succès sur une conduite sous pression à Baker Lake. Elle est d'un coût très avantageux pour les longues conduites d'alimentation (comme celles de Baker Lake) mais présenterait, pour les canalisations de branchement normales, les mêmes problèmes que les rubans chauffants, avec en plus des problèmes de raccords au niveau des conduites. Cependant, cette méthode présente un avantage : c'est le moyen le plus sûr d'effectuer un transfert de chaleur. On fait actuellement des essais, en collaboration avec Chemelex, pour étudier les effets du gel et du dégel sur un ruban chauffant placé à l'intérieur d'une conduite.

- Introduction d'un tube de dégel à l'intérieur de la conduite. — Conjointement avec Du Pont du Canada Ltée, on a fait des essais sur un tube de 25 mm, de la série 160, placé à l'intérieur d'une conduite. Les résultats ont montré que, s'il n'est pas rempli d'un fluide antigel (ce qui complique les choses), le tube de dégel intérieur cède quand la conduite maîtresse gèle (photographies 21 et 22).

#### Recommandation

On utilisera des tubes de dégel en polyéthylène, placés à l'extérieur des conduites, pour tous les réseaux de canalisations construits dans les Territoires du Nord-Ouest en 1979. Les tubes de dégel devraient être de diamètre aussi petit que possible (selon les conditions qui prévalent), pour favoriser le transfert de chaleur. Les tubes de dégel seront utilisés uniquement pour les conduites maîtresses. On ne prévoit donc pas de système auxiliaire de dégel pour les conduites d'égout.

Les canalisations équipées de rubans chauffants continuent à connaître des problèmes d'infiltration qui sont directement reliés à la conception ou à l'installation. Par contre, avec les canalisations dotées de tubes de dégel, il ne se produit pas (ou peu) d'infiltration dans les regards de service.

#### Recommandation

Les infiltrations diminueront dans la mesure où on utilisera des tubes de dégel. Les normes actuelles concernant l'étanchéité des joints faits à l'aide de mastic ou en utilisant des manchons en matériau thermorétrécissant et des demi-coquilles préfabriquées, sont telles que la détérioration des isolants devrait être minimale et acceptable tout au long de la vie utile (20 ans) du réseau. Il faudra cependant faire des vérifications sur place pour s'assurer que les manchons et les rubans adhésifs thermorétrécissables sont posés correctement. L'une des causes premières d'infiltration provient du fait que l'extérieur de la conduite n'a pas été nettoyé et séché correctement avant la pose du manchon ou du ruban adhésif.

À partir d'une analyse thermique et d'un contrôle des températures, on a déterminé qu'un isolant épais de 50 mm constituait un optimum pour les réseaux de canalisations enfouies à faible profondeur.

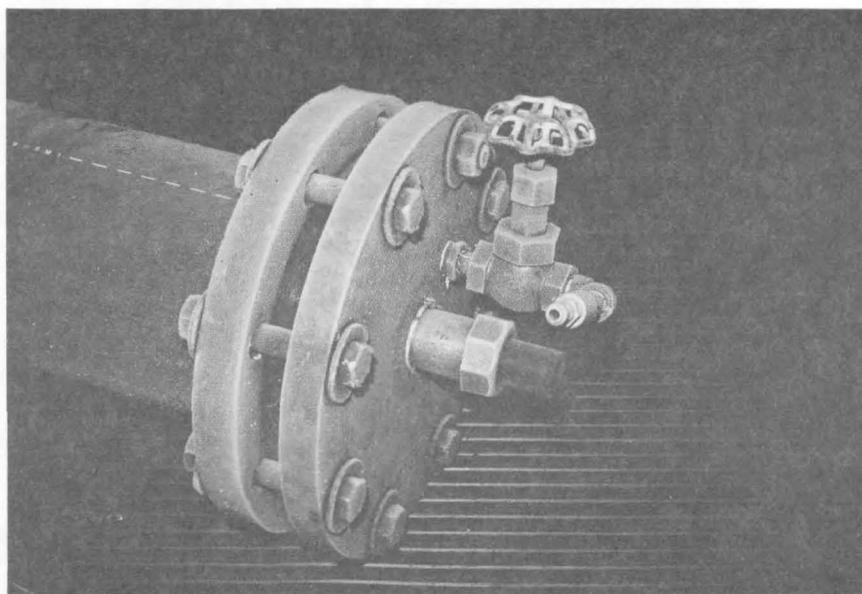
**Regards de visite (mini-centres d'entretien).** — On a d'abord voulu standardiser la dimension des regards de visite pour un contrat de construction donné, les fabriquer en usine puis les expédier sur le chantier. Cependant, de nombreux trous d'homme se sont révélés trop petits pour pouvoir loger tous les raccords, prises d'eau, robinetterie, etc. De plus, de nombreux entrepreneurs préféreraient couler sur place les regards de visite. La préfabrication de ces unités dans le Sud ne figure donc pas parmi nos considérations. Notons pourtant que, pour des travaux importants, la préfabrication dans une usine locale de production par lots présente des avantages certains. Dans le cas des regards de visite de grande taille, la dimension maximale des sections préfabriquées est fonction de l'équipement disponible pour les transporter (photographies 23, 24 et 25).

On a proposé à maintes reprises d'utiliser l'acier au lieu du béton pour les regards de visite. L'acier présente des avantages certains en ce qui concerne la préfabrication et l'expédition, mais ses inconvénients (corrosion, gauchissement des ouvertures par la température, problèmes de fixation au sol), sont plus grands que ses avantages.

#### Recommandation

Les regards de visite seront en béton, dans les tailles standards notées ci-dessous. On choisira, pour une situation donnée, la dimension minimale convenable. Tous les modèles, s'ils sont préfabriqués, pourront être faits de segments de 600 mm et transportés à l'aide d'un équipement classique. Voici les dimensions standards.

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| a) 1 400 × 1 400 mm | f) 1 700 × 1 700 mm |
| b) 1 400 × 1 700 mm | g) 1 700 × 2 300 mm |
| c) 1 400 × 2 000 mm | h) 2 000 × 2 000 mm |
| d) 1 400 × 2 300 mm | i) 2 000 × 2 300 mm |
| e) 1 700 × 1 700 mm | j) 2 300 × 2 300 mm |



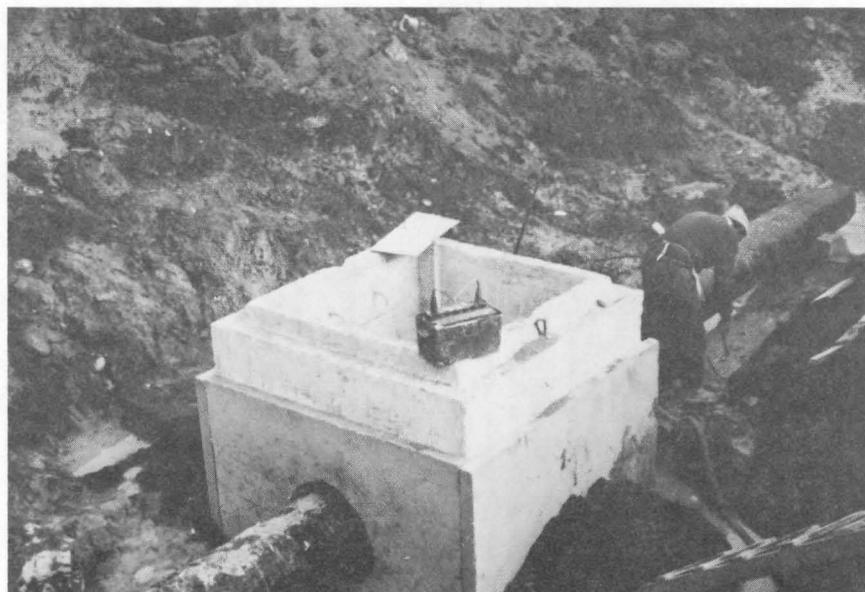
Photographie 21    Appareil servant à tester les tubes de dégel



Photographie 22    Tube de dégel ayant cédé



Photographie 23 Regard de visite en béton préfabriqué



Photographie 24 Regard de visite en béton, coulé sur place



Photographie 25 Sections de regard de visite en béton préfabriqué

Comme nous l'avons noté précédemment, l'infiltration d'eau dans les regards de visite se produit surtout à l'endroit où les conduites équipées de rubans chauffants arrivent dans le mini-centre d'entretien. Pour remédier à ce problème, il existe de nombreux produits sur le marché; ils sont présentement étudiés et répertoriés.

Si l'on veut éviter de faire passer une conduite à travers la paroi en béton, on peut couler sur place, au centre de la paroi en béton, une pièce tubulaire bridée comportant un arrêt d'eau. Cette technique offre une certaine protection contre l'infiltration et par l'intermédiaire des brides, on peut raccorder la conduite en polyéthylène à l'extérieur du regard de visite. Elle présente pourtant une difficulté : le tube de dégel doit pouvoir être connecté à la pièce tubulaire bridée par un raccord spécial, ou être raccordé à un tronçon bridé distinct. Dans ce dernier cas, il faut retirer le tube de dégel de son enveloppe isolante avant de la connecter, ce qui pose des problèmes d'isolation.

#### Recommandation

Dans le cas des conduites qui traversent un regard de visite, on retirera l'isolant sur une distance de 15 cm entre la conduite et la paroi du regard de visite. Avant de les jointoyer, recouvrir les conduites à nu d'un mastic scellant approuvé.

Les commandes de pompe d'assèchement n'ont pas permis jusqu'à présent un contrôle suffisant du niveau d'eau, car il fallait environ 30 cm d'eau au fond du regard de visite (au-dessus de la fosse d'aspiration) pour que la pompe se mette à fonctionner. On devait déconnecter les commandes automatiques et les placer en mode manuel pour évacuer l'eau.

#### Recommandation

Des commandes de pompe d'assèchement plus adéquates sont disponibles sur le marché : elles s'enclenchent et se déclenchent à la hauteur de la fosse d'aspiration (30 cm). On devrait les employer à l'avenir.

Les regards de nettoyage d'égout existants, faits d'une plaque d'acier rigide boulonnée sur le haut d'un raccord spécial, sur la conduite, sont conçus de manière à permettre l'accès, dans les deux sens. Lors du colloque, on a proposé de placer les regards de nettoyage d'égout loin de l'ouverture des regards de service. Cependant, selon que la plaque d'acier s'ouvre dans un sens ou dans l'autre, cette disposition serait ou bien correcte ou bien problématique (en particulier quand il faudrait alimenter un câble de traction ou un foret électrique par l'ouverture du regard de service).

#### Recommandation

Les regards de nettoyage d'égout seront placés de telle façon qu'on puisse facilement utiliser un foret électrique, par l'ouverture du regard de service. Ils seront donc en général situés sous l'ouverture du regard de visite.

Les regards de visite sont isolés à l'extérieur avec 100 mm de mousse de styrène, pour usage extérieur. Cet isolant donne de bons résultats quand il est posé sous terre, autour du regard de visite. Mais quand il est posé sur le haut du regard, il est généralement attaqué par les intempéries et endommagé, même quand il est recouvert par 15 cm de terre. Pour remédier à ce problème, à Resolute Bay et à Rankin, on a posé l'isolant entre une plaque en béton (sur le dessus) et une plaque métallique (à l'intérieur du regard). On a jugé qu'il était préférable de procéder ainsi plutôt que de simplement recouvrir de terre l'isolant (comme à Frobisher Bay), mais cette méthode était malheureusement trop compliquée et elle entraînait un gaspillage de béton.

#### Recommandation

L'isolant sur le dessus du regard de visite sera protégé; on appliquera l'une des deux méthodes courantes, selon le niveau du sol (figures 12 et 13).

Jusqu'à présent, on s'est servi de couvercles et de plaques standards de 600 et 750 mm, en fonte, pour fermer les regards de visite. On a installé des plaques intérieures isolées, préfabriquées, comme protection anti-gel. Mais elles étaient difficiles à installer et, de plus, elles gelaient; on les a donc retirées. On a essayé de se procurer des couvercles en fonte assez profonds pour qu'on les remplisse de mousse isolante; ainsi, un seul couvercle aurait suffi (figure 14). Dans certains cas, comme à Frobisher Bay et à Fort Rae, la technique s'est révélée satisfaisante; par contre, à Resolute, elle n'a pas donné satisfaction parce que le moussage in situ n'a pas été fait correctement. Cette technique élimine les problèmes de gel, car assez de chaleur s'échappe du pourtour du couvercle pour que celui-ci ne soit pas fermé par le gel.

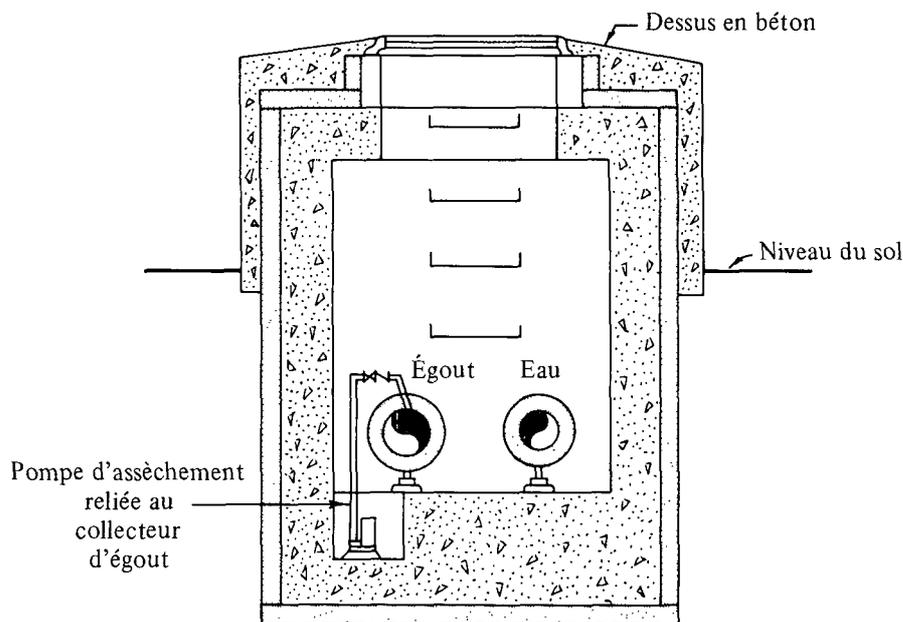


Figure 12 Protection de l'isolant du regard de visite

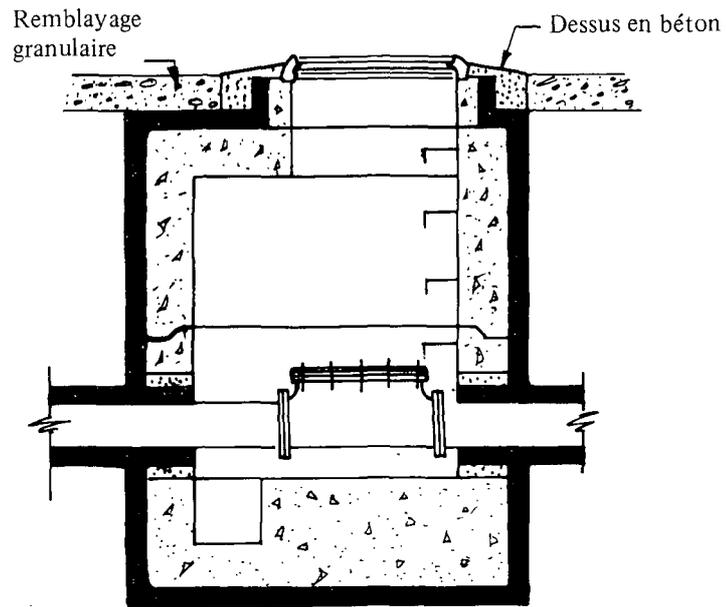


Figure 13 Protection de l'isolant du regard de visite

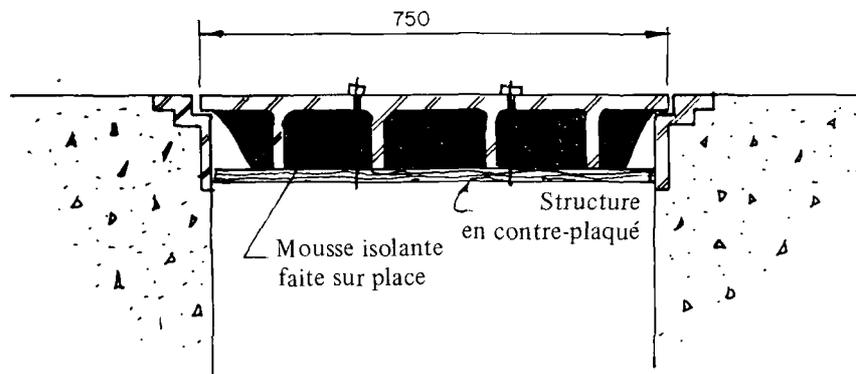


Figure 14 Couvercle isolé de regard de visite

#### Recommandation

Les ouvertures des regards de visite auront une dimension standard de 750 mm, de façon que les employés vêtus pour affronter les conditions du Nord puissent s'y introduire facilement. Les couvercles en fonte auront une cavité suffisamment profonde pour recevoir 50 mm de mousse isolante, elle-même protégée en dessous par une structure en contre-plaqué.

On s'est interrogé sur la fiabilité des vannes papillons standards qu'on utilise présentement. La corrosion des poignées gêne parfois le fonctionnement. De petits corps étrangers (cailloux par exemple), peuvent ne pas permettre la fermeture étanche. On s'est aussi questionné sur le nombre et l'emplacement des robinets d'isolement.

#### Recommandation

Des robinets-vannes seront utilisés à la place des vannes papillons. Les robinets-vannes seront du type à bride de raccordement, avec des joints en caoutchouc Buna N permettant d'assurer l'étanchéité en dépit de la présence des petits cailloux et autres corps étrangers. Il y aura des robinets-vannes tous les deux regards de visite pour donner au système la souplesse de fonctionnement voulue.

Les radiateurs électriques actuellement utilisés dans les regards de visite sont des éléments muraux de 500 watts conçus pour un environnement sec (à l'exception de ceux employés à Frobisher Bay lors de la 1<sup>re</sup> phase); ils sont contrôlés par un thermostat incorporé pouvant être réglé à bas, moyen ou fort. On s'est rendu compte qu'avec un réglage "moyen", les voûtes étaient trop chaudes, avec une température d'environ 20 °C. Mais un bon thermostat placé loin du radiateur coûterait aussi cher que le radiateur lui-même.

#### Recommandation

On recommande d'employer les mêmes radiateurs, mais de les régler à une température aussi basse que possible ou de les arrêter, et de ne les faire fonctionner qu'en cas de besoin.

**Branchements.** – Les conduites d'amenée (comprenant une canalisation d'égout en polyéthylène à densité élevée de 100 mm, un câble chauffant et deux canalisations d'eau en polyéthylène à densité élevée de 25 mm), ont posé de graves problèmes de branchement, tant au niveau de la conduite maîtresse qu'à celui des canalisations de branchement pénétrant dans les habitations.

On a essayé d'utiliser des éléments isolés préfabriqués et normalisés, là où la canalisation d'eau se sépare de la canalisation d'égout à la sortie de la conduite d'amenée. Ces essais n'ont pas donné satisfaction. La meilleure méthode dans le cas des conduites d'amenée est encore de préparer sur place un coffrage saturé de mousse isolante où seront enfermés les accessoires (photographie 26). Cette méthode est coûteuse et demande du temps (on est obligé d'utiliser, pour l'isolation sur place, de petites quantités de mousse). Lorsque le moussage in situ est fait par temps froid (sous le point de congélation), la qualité du produit fini laisse souvent à désirer. Et si on a besoin de ressortir de terre la canalisation, il faut déchirer le coffrage de mousse et le remplacer.

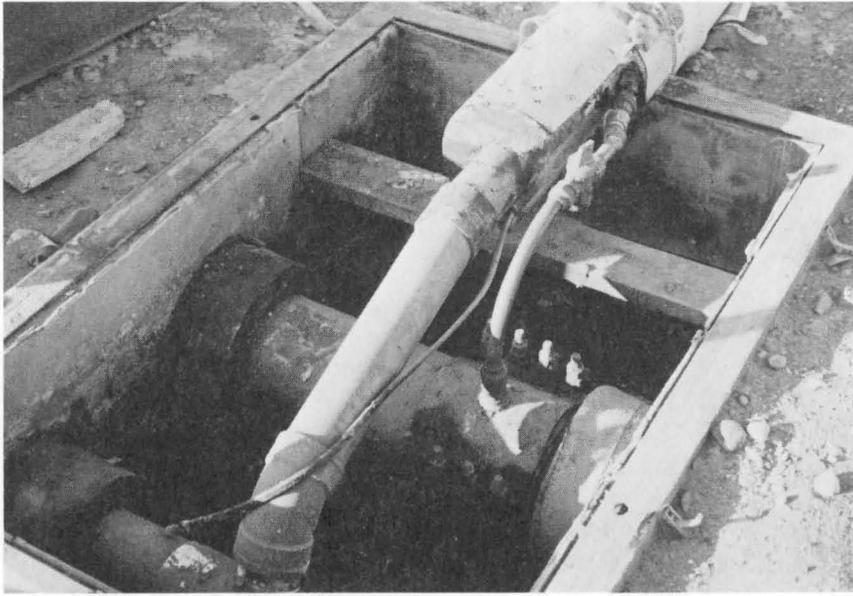
Les branchements d'abonnés font souvent que la canalisation d'égout passe à un endroit alors que la canalisation d'eau passe à un autre (en particulier dans le cas des maisons déjà construites). Dans le cas d'une conduite d'amenée, cela signifie que la canalisation d'eau ou la canalisation d'égout doit être séparée à un certain point, et passer soit sous la maison, soit dans la maison. Il faut alors isoler sur place les tuyaux, ce qui peut causer le gel des branchements.

En raison des difficultés rencontrées avec ce système, on s'est questionné au sujet des conduites d'amenée. On a envisagé d'autres possibilités : conduite d'amenée pré-isolée comprenant deux canalisations d'eau et un ruban chauffant, avec isolant souple et gaine de protection, utilidor pré-isolé de 75 mm comprenant deux canalisations d'eau et un ruban chauffant, canalisation d'égout distincte de 100 mm, isolée mais sans ruban chauffant.

Si la canalisation d'égout est placée dans une conduite d'amenée, elle ne nécessite pas de ruban chauffant. Mais une canalisation d'égout distincte sans ruban chauffant risque de geler sans qu'on puisse ensuite la dégeler aisément.

#### Recommandation

On adoptera pour les branchements un système à deux canalisations placées dans une même tranchée (figure 15). Les canalisations d'eau et le ruban chauffant seront intégrés à une conduite d'amenée ou à un utilidor pré-isolé de 75 mm, tel qu'indiqué ci-dessus. La canalisation d'égout sera constituée d'un tuyau distinct de 100 mm en polyéthylène à poids moléculaire élevé, pré-isolé, sans ruban chauffant. On peut facilement relier de tels systèmes aux canalisations principales en utilisant de l'isolant et un revêtement préfabriqués. Au besoin, on peut faire que les canalisations d'eau et d'égout pénètrent séparément dans la maison.



Photographie 26 Branchement particulier

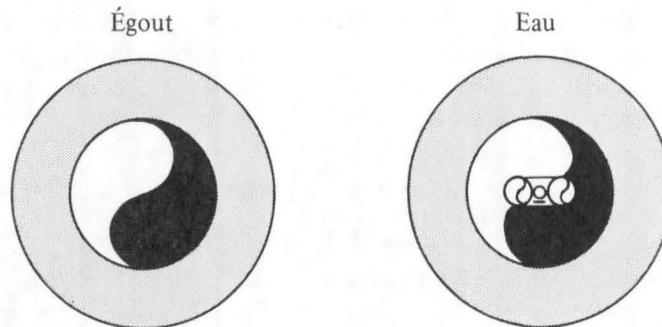


Figure 15 Branchement à deux canalisations

Auparavant, les boîtes à robinets et les dispositifs de commande étaient placés au niveau des arrêts principaux pour isoler les branchements. L'expérience a montré que ces dispositifs coûtent cher à installer et qu'ils sont une source constante de problèmes. Dans le Nord, la plupart des systèmes sont installés le long de routes de gravier. Même si les compartiments sont bien marqués, il arrive fréquemment qu'ils soient heurtés par les véhicules chargés d'enlever la neige; les dispositifs d'arrêt principaux sont alors débranchés, ce qui provoque des fuites. La nécessité et les avantages de tels systèmes sont sérieusement remis en question. Si on installe une conduite d'eau continue, sans joint, de la conduite maîtresse à la maison, des fuites peuvent se produire au niveau de la conduite maîtresse ou à la maison — mais pas entre les deux. Si la fuite se produit au niveau de la conduite maîtresse, on est obligé de creuser. Si c'est à la maison, les robinets sont situés au point où la canalisation pénètre dans l'habitation.

#### Recommandation

À l'avenir, on n'installera plus de boîtes à robinets.

Dans le cas d'une conduite d'amenée, les canalisations pénètrent dans la maison en passant par un compartiment isolé situé sous l'habitation, tel qu'indiqué à la figure 16. S'il y a tassement au niveau des fondations, l'air peut s'infiltrer dans le compartiment, ce qui provoque le gel des canalisations.

#### Recommandation

L'usage des compartiments de service sous les maisons doit être abandonné. À l'avenir, on devra utiliser le système à deux canalisations. La canalisation isolée traversera le plancher et sera ensuite raccordée dans un espace ouvert et chauffé.

À cause des problèmes liés au gel et aux capteurs des thermostats mal placés, les usagers se servent souvent de rubans chauffants et de pompes de circulation, ce qui entraîne une consommation d'énergie inutilement élevée.

#### Recommandation

En l'absence d'écoulement, le ruban chauffant sera actionné par une commande de débit. Cela permettra d'éliminer les thermostats et de réduire les pertes d'énergie (figure 17).

### ÉVALUATION DES COÛTS

Une liste d'objectifs a été établie précédemment pour la conception des réseaux de canalisations isolées et enfouies à faible profondeur. Nous considérons avoir montré que le système présenté ci-dessus permet d'atteindre la plupart de ces objectifs, à l'exception cependant du dernier : "Le système doit permettre de réaliser l'ensemble des objectifs et rester économique."

Pour démontrer que le système répond également à ce dernier objectif, nous résumons ci-après les coûts associés au réseau de Frobisher Bay. Les montants des soumissions faites en 1979 sont calculés en fonction d'un réseau répondant à toutes les exigences énoncées plus haut.

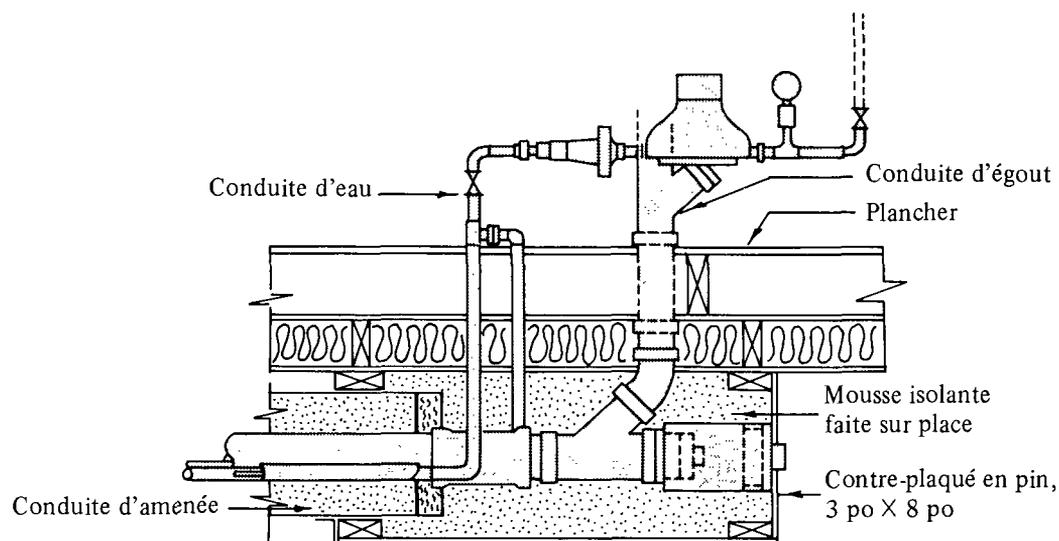


Figure 16 Compartiment de service sous l'habitation

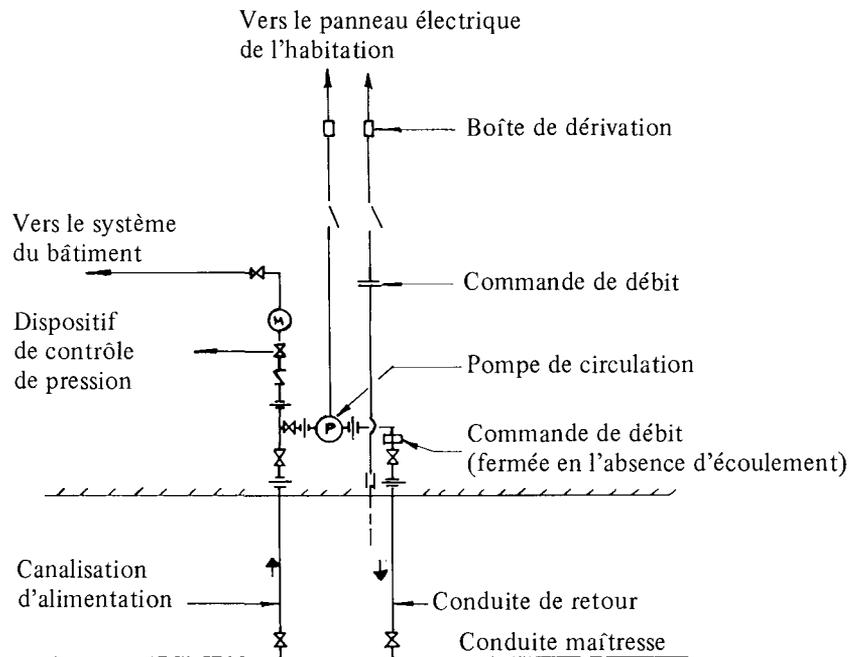


Figure 17 Ruban chauffant actionné par une commande de débit

Pour une canalisation d'eau de 150 mm et une canalisation d'égout de 200 mm mises en lit dans une même tranchée avec les prises d'eau, regard de visite, système électrique, etc., le coût par mètre des deux conduites isolées individuellement est le suivant :

Phase I 1976 \$880/m linéaire

Phase III 1978 \$390/m linéaire

Phase II 1977 \$424/m linéaire

Phase IV 1979 \$315/m linéaire

L'expérience, la normalisation et le progrès technique ont permis une réduction des coûts, ceci en dépit de l'infiltration. En fait, le coût du réseau de Frobisher Bay est maintenant comparable à celui du réseau de Yellowknife. Il est beaucoup plus avantageux que le modèle T Inuvik, extrêmement onéreux, qui coûte actuellement environ \$475 le mètre dans une version comparable à notre système.

## CONCLUSION

Le présent document résume les travaux entrepris au cours des quelques dernières années, dans les Territoires du Nord-Ouest, en vue de mettre au point un réseau de canalisations normalisé, pratique et économique. Le système décrit ici est le meilleur. Sa conception est le fruit d'un effort commun du gouvernement, de l'industrie de la construction, du personnel d'entretien, des fournisseurs de matériaux et des différents conseillers. Tous ces participants, de même que leurs concurrents, se sont retrouvés en novembre 1978 au colloque de Yellowknife sur les réseaux de canalisations isolées enfouies à faible profondeur, ce qui symbolise bien la valeur de cet effort de collaboration.

Nous espérons pouvoir tenir chaque année de tels colloques, à une plus grande échelle, non seulement pour continuer à améliorer les réseaux souterrains, mais aussi pour étudier des situations similaires, dans d'autres secteurs parvenus à un stade équivalent de développement : captage des eaux des rivières, des lacs et des réservoirs, stations de pompage pour le remplissage des camions-citernes, stations de rejet des eaux-vannes et des sacs hygiéniques, réservoirs de stockage de l'eau et longues canalisations distributrices.

Un niveau de maturité et de croissance sans précédent a été atteint dans le Nord et des efforts ont été déployés en vue de normaliser l'habitat de l'homme en dépit des conditions difficiles qui prévalent.

## TROISIÈME SÉANCE APPLICATIONS TECHNIQUES

### CANALISATIONS PRÉ-ISOLÉES EN POLYÉTHYLÈNE À DENSITÉ ÉLEVÉE: ÉVOLUTION D'UN PROJET DANS LE NORD

A.D. Whyman  
Division de la tuyauterie, Du Pont du Canada Limitée  
Mississauga (Ontario)

Dans les régions du Nord, les réseaux de canalisations semblent être la solution la plus souhaitable pour l'approvisionnement en eau et l'aménagement des égouts.

Actuellement, la distribution de l'eau et le ramassage des eaux-vannes dans les petites localités se font souvent par véhicule, ce qui est peu fiable et entraîne fréquemment des coûts d'exploitation élevés.

Le système du point d'eau central marque un progrès par rapport aux méthodes passées mais il ne représente qu'une solution intérimaire, car les habitants demandent toujours plus de confort.

Le ramassage des seaux et des sacs hygiéniques pose de sérieux problèmes de santé, en particulier quand l'emplacement de la décharge a été mal choisi.

La population du Nord attend une amélioration de ses conditions de vie, et c'est pourquoi on consacre plus d'efforts à la conception des services d'eau et d'égout. De nombreux systèmes autrefois considérés comme adéquats sont maintenant désuets: ils ne sont plus acceptables pour des raisons d'esthétique, de santé ou d'écologie. Souvent, ils ne répondent plus aux normes en vigueur.

Les canalisations pré-isolées en polyéthylène à poids moléculaire élevé sont actuellement les plus utilisées pour les nouveaux réseaux aménagés dans le Nord canadien. L'emploi de ce type de canalisations s'est révélé relativement satisfaisant mais il y a eu des difficultés dans certaines régions; la plupart résultaient de frictions entre les divers groupes responsables de la construction des réseaux. Comme on le montre ici, une amélioration des rapports entre les diverses parties concernées entraînera éventuellement une amélioration des systèmes appliqués.

#### RÉSEAUX DE CANALISATIONS

**Avant-propos.** — Par le passé, on a installé dans certaines localités du Nord des utilidors, qui étaient des conduits isolés et chauffés, posés au-dessus du sol et renfermant les canalisations. En dépit de leur coût élevé, les utilidors (qui sont sujets à de fortes pertes de chaleur et aux dommages matériels), ne fournissent pas le service attendu pendant toute leur vie utile. Naguère, on considérait les réseaux de canalisations souterraines comme peu commodes, car il était impossible d'y faire des réparations pendant l'hiver. Les matériaux utilisés étaient soit des matériaux conçus pour le Sud, soit des matériaux locaux ou des surplus de stock. L'éventualité de réparations à effectuer était donc fort probable.

On a consacré peu d'efforts à la mise au point d'un réseau de canalisations où la tuyauterie, l'isolation et les rubans chauffants seraient conçus pour durer et seraient fiables en dépit des rigueurs climatiques, tout en étant compatibles les uns avec les autres. Il arrivait fréquemment que les systèmes subissent un arrêt alors même qu'une ou deux composantes étaient en parfait état de fonctionnement: il suffisait qu'un élément, mal adapté au système, cesse de marcher ou que deux éléments, chacun bien adapté au système, réagissent mal entre eux.

**Réseau de canalisations idéal.** — Un réseau de canalisations conçu pour le Nord ne doit pas seulement être durable, sûr et composé d'éléments compatibles; il doit aussi pouvoir être installé sous terre ou au-dessus du sol. Si l'on peut virtuellement éliminer les risques de défauts, les réseaux souterrains sont très attrayants: pas de problèmes d'esthétique, de tracé, de détérioration; réduction des pertes de chaleur et des risques de gel.

Un facteur revêt une importance capitale: les canalisations doivent pouvoir résister à un gel complet et prolongé ou à des cycles de gel-dégel.

Les principales composantes du système doivent être choisies de façon à minimiser les pertes de chaleur et à réduire la consommation d'énergie. Les considérations énergétiques prennent en effet de nos jours une importance grandissante.

Un réseau de canalisations idéal doit pouvoir s'adapter aux réseaux qui existent déjà dans les localités du Nord; il doit de plus être adapté au système métrique. L'installation du réseau ne doit nécessiter que peu, ou pas, de compétences techniques additionnelles et ne doit demander qu'un équipement lourd limité. Il doit être économiquement rentable pour les petites comme pour les grandes localités.

### CONCEPTION (POINT DE VUE DU FOURNISSEUR)

Il y a quelques années encore, il était courant de procéder empiriquement pour concevoir les systèmes de canalisations. Il y avait plusieurs raisons à cela: absence d'une politique cohérente, manque de ressources techniques, d'expérience et d'information suffisantes, pratiques inadéquates dans le domaine de la construction, coopération insuffisante de l'industrie de la tuyauterie. Ce manque de collaboration était dû tant aux concepteurs, qui hésitaient à faire appel à l'industrie, qu'aux industriels, qui préféraient ne pas s'engager sur ces "lointains marchés".

Dans le passé, les fournisseurs de matériaux ont hésité à investir de l'argent ou des efforts dans un projet "global" de réseau de canalisations. En effet, rien n'empêche un ingénieur de transmettre les informations techniques fournies par un fabricant aux concurrents de celui-ci. La position des fabricants est mal définie lors des étapes préliminaires d'un projet: l'ingénieur qui a obtenu des renseignements ou des données techniques d'un fabricant peut très bien faire appel à un autre fournisseur (qui n'aura pas à lui présenter de facture à ce sujet).

Le temps presse maintenant. Parce qu'ils veulent des réseaux normalisés qui soient modernes, efficaces et sûrs, les usagers ou propriétaires, les concepteurs, les entrepreneurs et les fournisseurs coopèrent davantage entre eux. Les fonctions de chacun ne sont plus aussi étroitement définies que par le passé. La conception, les renseignements pris auprès des fabricants, le choix des matériaux et la construction nécessitent le concours de tous les intéressés. Pour que l'aménagement d'un réseau soit un succès, il faut une analyse approfondie à l'étape de la conception et il faut obtenir par la suite le concours des fournisseurs. Effectuer des réparations, des modifications ou prolonger le réseau exige la normalisation des produits et des concepts, ainsi qu'une source fiable de matériaux. Les fournisseurs doivent être prêts à fournir aide et conseils sur le chantier, pendant et après la construction.

Les concepteurs doivent par ailleurs se soucier des restrictions normales de temps et de coût. Dans le Nord, le facteur temps prend souvent une importance primordiale. Pour être installées au milieu de l'été, les composantes du réseau doivent souvent être expédiées en mai ou en juin. Vu les longs délais de livraison exigés pour de nombreux articles, il faut souvent placer les commandes dès le début mars, ce qui signifie que la conception du réseau doit être terminée et approuvée en janvier.

Les restrictions de temps sont telles qu'on ne peut pas se livrer à des "expériences". Et même si le temps le permettait, on ne pourrait pas le faire, faute d'installations adéquates. Le concepteur doit faire confiance au fabricant, et il importe que ce dernier lui fournisse des informations précises et réalistes. Le fournisseur doit indiquer au concepteur quels éléments du projet seront difficiles à usiner ou à installer.

Lorsqu'il travaille ainsi avec un ingénieur, le fournisseur a souvent un problème délicat à résoudre: où finit ce qu'on appelle "fournir une aide" et où commence ce qu'on appelle "fournir une étude de projet"? Il existe une formule standard de dénégation qui libère le fournisseur de toute responsabilité en ce qui concerne l'utilisation des renseignements qu'il donne. Cette situation doit être revue périodiquement par tous les intéressés.

Au cours des dernières années, les fournisseurs ont été exposés à deux situations extrêmes. Lorsqu'il y a peu ou pas de rapports entre le fournisseur et le concepteur, il en résulte parfois une étude peu réaliste ou très coûteuse. Lorsque l'ingénieur compte trop sur le fournisseur, il lui demande parfois de soumettre une étude de projet pour s'assurer de la justesse des renseignements fournis. Dans ce cas, l'ingénieur doit cependant approuver l'étude de projet et assumer pleinement la responsabilité de sa réalisation. Il arrive fréquemment qu'on demande au fournisseur de se rendre sur le chantier pour former un entrepreneur, pour donner l'information technique essentielle ou, à l'occasion, pour participer à l'inspection. Là encore, les responsabilités sont très mal définies. Normalement, un fournisseur ne peut garantir que le travail qu'il a effectué lui-même; s'il inspecte le chantier, il ne fait qu'aider l'ingénieur ou le propriétaire et il n'est pas responsable du succès ou de l'échec des travaux.

Généralement, le fournisseur est payé pour fournir les produits et le service technique qui lui sont demandés. Toute autre forme de participation n'implique, de sa part, aucune responsabilité.

Toutes ces considérations rendent encore plus complexe le travail de l'ingénieur-concepteur. Celui-ci doit, non seulement travailler en collaboration étroite avec le futur propriétaire du réseau mais entretenir des rapports avec les fournisseurs compétents. Les avantages qui en découlent valent probablement largement les efforts additionnels: études réussies, réduction des coûts et succès en affaires. Le concepteur découvre qu'avec la normalisation des produits, il n'a plus à "réinventer la poudre". Une utilisation plus sage des ressources s'ensuit, ce qui permet de consacrer plus d'efforts à d'autres domaines comme la collecte des données, la surveillance sur le chantier ou les études environnementales.

### RÉSEAUX DE CANALISATIONS PRÉ-ISOLÉES SCLAIRCOR

Le système de canalisations pré-isolées SCLAIRCOR<sup>1</sup> a été présenté officiellement lors du Congrès sur les services publics dans les régions arctiques, en mars 1976 (1). Ce type de réseau a été installé pour la première fois en 1970, à Klemtu (C.-B.). Le succès remporté, à Klemtu puis sur d'autres sites, a incité Du Pont du Canada à présenter un "système global" et tout un éventail d'accessoires connexes. Les expériences menées sur le terrain et en laboratoire ont permis à la compagnie de mettre le système en vente, sous le nom SCLAIRCOR, en 1976.

À l'origine, le système a été conçu pour satisfaire aux exigences des ministères des Travaux publics des Territoires du Nord-Ouest et du Yukon. La mise au point du système a été influencée par les requêtes de certains ministères fédéraux (Affaires indiennes et du Nord, Transport Canada), certains organismes provinciaux du Nord et par des compagnies de services publics comme Hydro-Manitoba.

Le système SCLAIRCOR est composé de trois éléments: canalisations et joints SCLAIRPIPE<sup>1</sup> en polyéthylène à poids moléculaire élevé; isolant en mousse de polyuréthane rigide, appliqué en usine, et isolant couvre-joints; câbles chauffants ECONOTRACE à résistance montée en parallèle et à puissance constante par pied, avec accessoires. Tous les éléments, choisis pour leur longévité et leur compatibilité, sont fabriqués au Canada. La figure 1 montre la disposition normale des composantes quand deux tuyaux sont soudés bout à bout.

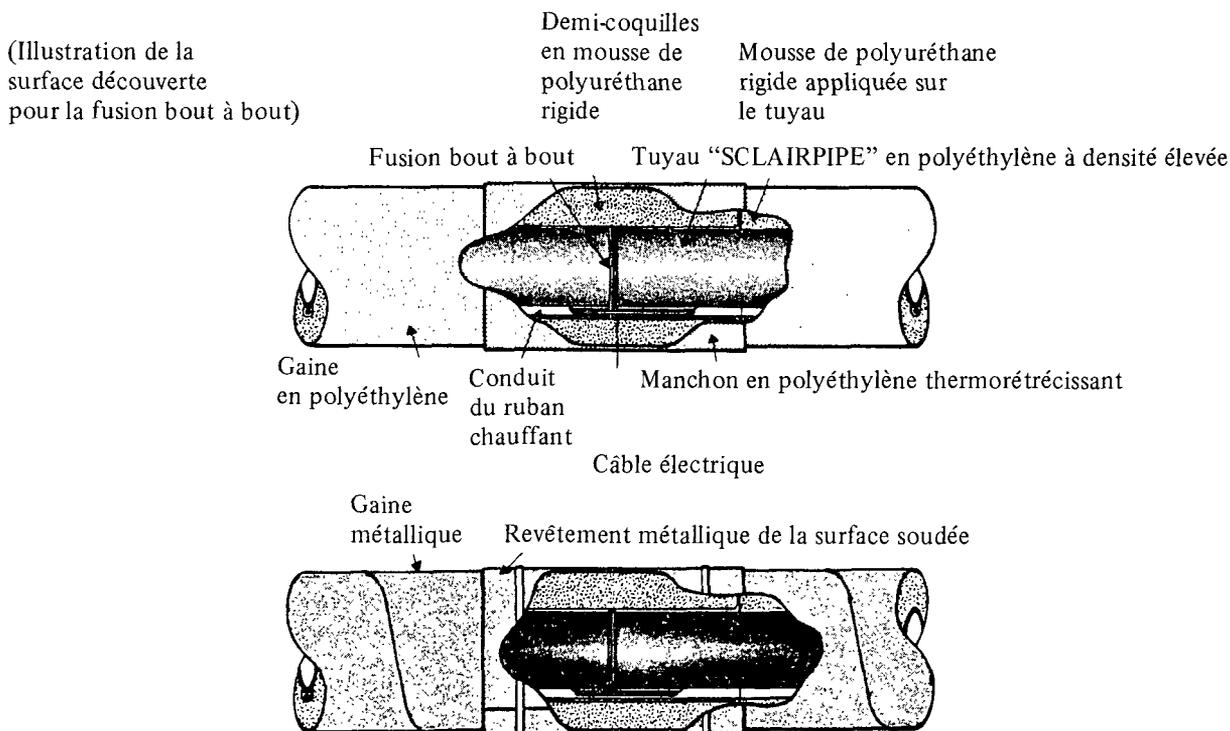


Figure 1 Composantes du système

<sup>1</sup> SCLAIRCOR et SCLAIRPIPE sont des marques déposées par Du Pont du Canada Limitée pour son système de tuyaux pré-isolés et pour des tuyaux en polyéthylène.

Le tuyau est passé au jet de grenailles pour faciliter l'adhésion de l'isolant. Cet isolant peut être chemisé de deux façons : pour les modèles souterrains, un épais manchon en polyéthylène est extrudé sur une couche de mastic qui colle à l'isolant; pour les modèles au-dessus du sol, sujets aux dommages matériels, l'isolant est chemisé avec des spirales en acier galvanisé ou en aluminium. Le métal est moleté à l'intérieur de façon à adhérer mécaniquement à l'isolant. Le tuyau, l'isolant et la gaine forment un tout, tel un bloc monolithique.

Le système présente les avantages suivants :

- Fiabilité mécanique : le système est conçu pour durer longtemps. Le tuyau ne se rompt pas quand les matières qu'il contient gèlent.
- Qualité de l'isolation thermique : la mousse en polyuréthane rigide a la plus faible conductivité thermique de tous les isolants commerciaux. Elle est appliquée en usine sous un contrôle de qualité strict. Le câble chauffant est le plus efficace qui existe pour ce type d'utilisation.
- Légèreté : tous les éléments sont choisis pour leur légèreté.
- Souplesse : le tuyau et l'isolant sont flexibles et se conforment à des sols peu stables. Ils ne deviennent pas cassants avec le froid.
- Corrosion nulle.
- Joints des tuyaux soudés bout à bout, à l'épreuve des fuites.
- Facilité et coût modéré de l'installation : tous les éléments sont conçus de façon à être installés rapidement, avec un minimum d'équipement lourd et de personnel qualifié.
- Réduction des coûts d'exploitation et d'entretien.

La figure 2 présente deux des options "Multi-tuyaux".

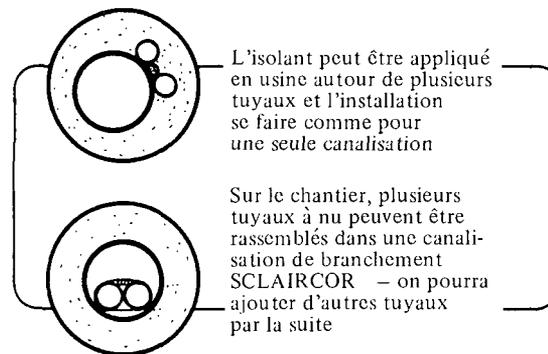


Figure 2 Options "Multi-tuyaux"

Le tuyau pré-isolé est expédié sur le chantier, par tronçons de 38 ou 50 pieds; les extrémités sont dénudées sur une courte longueur. Lorsque le tuyau doit être équipé d'un ruban chauffant, une petite rainure est prévue à cet effet sur la surface extérieure du tuyau, au creux de l'isolant. Le câble chauffant sert à empêcher la conduite de geler quand l'écoulement est faible ou inexistant, ou à dégeler la conduite en cas de besoin.

L'installation est simple et rapide. Les tuyaux sont soudés par emboîtement ou bout à bout. Pour effectuer les raccords, on peut utiliser soit un équipement fixe, soit un équipement mobile qu'on déplace le long de la voie de passage.

Lorsque le raccordement par fusion est terminé, le câble chauffant est glissé dans le petit conduit prévu à cet effet, d'une section de tuyau à l'autre, pour former des circuits qui ont jusqu'à 700 pieds de long. Un petit morceau de conduit est ajouté aux extrémités du conduit pour couvrir le câble, chaque fois qu'une surface est mise à nu par la fusion bout à bout. La surface dénudée est alors recouverte de demi-coquilles préfabriquées en polyuréthane et de manchons en matériau thermorétractible. Quand l'isolant est protégé par une gaine métallique, on pose un revêtement métallique pré-laminé par-dessus le manchon.

Le câble chauffant est normalement installé comme l'indique la figure 3. Sur les canalisations d'eau et d'égout, deux circuits peuvent être activés et contrôlés à partir d'un même point. Normalement, le câble des canalisations de branchement est activé et contrôlé à partir d'un bâtiment.

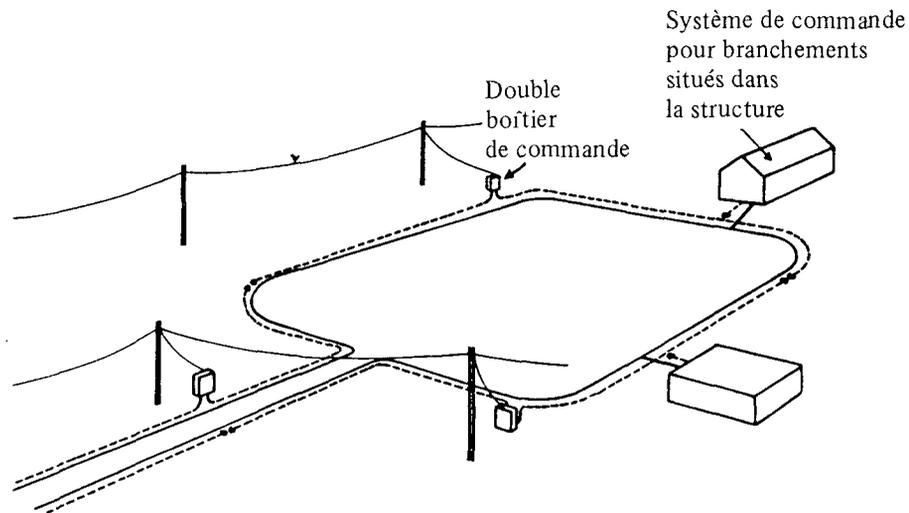


Figure 3 Tracé du système de chauffage électrique

Chaque circuit du câble chauffant est contrôlé par deux thermostats. Un thermostat à bulbe, sur la surface du tuyau, actionne le câble. Le second thermostat, posé sur le câble, constitue un dispositif de sécurité à haute température qui ne fonctionne que si le tuyau est vide, si la température extérieure est élevée ou si le premier thermostat est défectueux. Si le câble est bien choisi, il est pratiquement impossible de surchauffer le tuyau ou l'isolant. La figure 4 illustre le branchement du circuit électrique; tous les accessoires sont fournis sous forme de "kits".

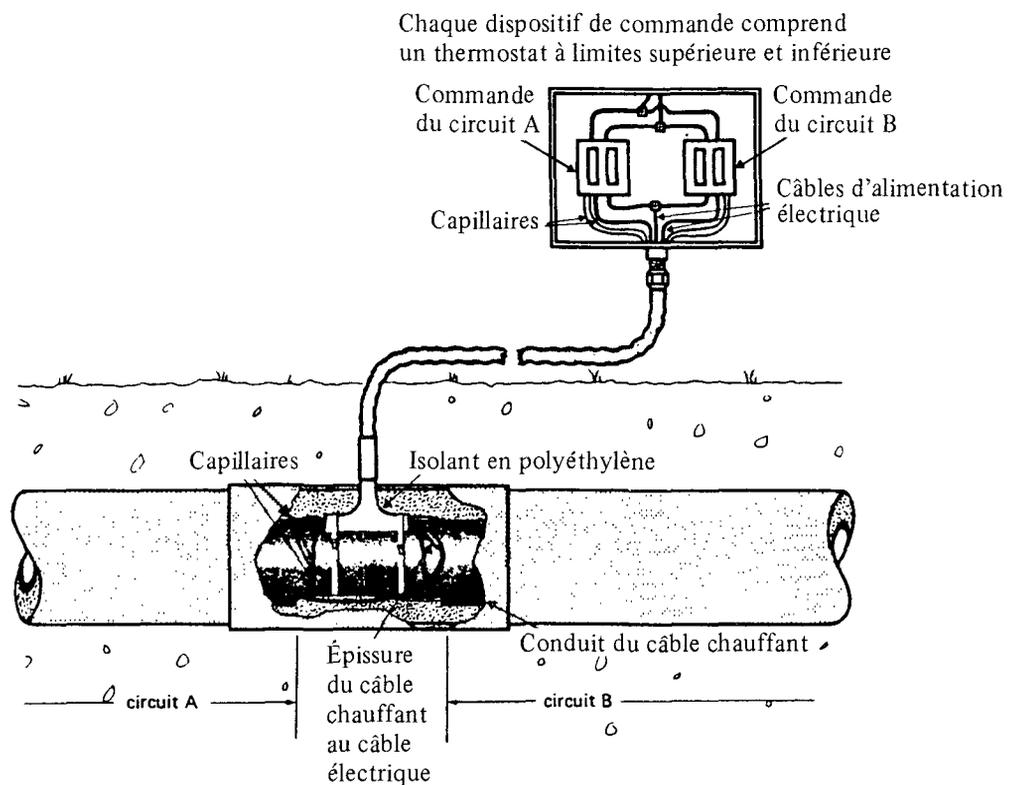


Figure 4 Branchement du circuit électrique

Les pièces isolantes destinées à compléter les raccords sur la conduite maîtresse (sauf en ce qui a trait à la robinetterie), et tous les branchements d'eau et d'égout, sont fournis sous forme de "kits". Les principales sections isolées sont complètement recouvertes d'une gaine en plastique.

Au début de 1976, Du Pont du Canada Limitée et ses distributeurs autorisés ont fourni des tuyaux SCLAIRCOR pour environ 50 installations, ce qui fait au total 107 000 m de conduites.

Au début de 1979, le nombre total d'installations était supérieur à 200, avec 305 000 m de conduites.

Du Pont a tiré de ces projets de très nombreuses informations concernant le système, qu'on a mis gracieusement à la disposition de tous ceux qui sont engagés dans les secteurs de la conception ou de la construction. Depuis 1976, on a apporté certaines modifications, améliorations et additions importantes aux produits.

#### TENDANCES ACTUELLES ET MISE AU POINT DES PRODUITS

**Tuyaux et raccords.** – Depuis quelques années, pour l'aménagement des réseaux du Nord, on tend à délaisser les matériaux classiques comme la fonte ductile, l'acier, le cuivre, l'amiante-ciment et même le chlorure de polyvinyle et l'acrylonitrile-butadiène-styrène qui sont plus récents. On avait cru que ces matériaux, traditionnellement utilisés dans le Sud, conviendraient pour le Nord. Mais les coûts d'expédition étaient très élevés et les matériaux étaient souvent endommagés pendant le transport, l'entreposage ou à l'installation.



Figure 5 Installations SCLAIRCOR au Canada

Ces matériaux imposaient de sévères restrictions en ce qui concerne les conditions et les techniques d'installation; à cause des délais, leur emploi réduisait considérablement la durée de la saison de construction. La plupart des matériaux, lourds et cassants, exigeaient un équipement de manutention lourd et spécialisé. Même quand les matériaux étaient en place, de graves dégâts pouvaient encore se produire – surtout quand les conduites gelaient alors qu'elles contenaient des liquides. Enfin, la corrosion de la tuyauterie métallique causait autant de problèmes dans le Nord que dans le Sud.

En général, on utilisait des tuyaux souples en polyéthylène à poids moléculaire élevé, qui ne cassent pas si on les manipule à basse température et qui résistent si leur contenu liquide gèle.

Depuis le début de 1976 la gamme des produits SCLAIRPIPE a subi plusieurs modifications importantes.

En 1976, une gamme complète de raccords en polyéthylène a été mise sur le marché. Ces raccords sont bridés ou fusionnés bout à bout, isolés au moyen de plastique renforcé par de la fibre de verre pour une résistance maximale dans les sols instables. Ils complètent la gamme de raccords précédemment disponibles pour des tuyaux de 4 pouces (100 mm) maximum.

Actuellement, Du Pont offre un nouveau type de raccord mécanique pour des dimensions nominales de 2 po (50 mm) à 8 po (200 mm). Le raccord "Victaulic 995 SCLAIRLOC" élimine le besoin d'un équipement de raccordement sur les petits chantiers éloignés; il est de plus extrêmement utile dans les zones urbanisées où il est difficile de manipuler de grandes longueurs de tuyau soudées bout à bout. Dans le cas des installations temporaires (chantiers par exemple), ce modèle permet de démonter les tuyaux et de les réutiliser ailleurs.

En 1977 et 1978, Du Pont a entrepris diverses modifications pour mettre sur le marché des tuyaux de dimensions métriques, et ce pour toute la gamme de ses produits. En même temps, on a modifié l'épaisseur de la paroi des tuyaux, de manière que SCLAIRPIPE soit classé comme tuyau PE 3510, selon la norme ONGC-41-GP-25M, avec une résistance de calcul de 5 kPa (725 lb/po<sup>2</sup>). SCLAIRPIPE ayant toujours été fabriqué en diamètre métrique pour les tuyaux de plus de 8 po, il n'a fallu que quatre nouvelles dimensions de tuyaux.

Les dimensions de 3, 4, 6 et 8 po ont été conservées en attendant la fabrication de raccords métalliques métriques d'usage courant.

En plus des quatre nouvelles dimensions de tuyaux, trois nouvelles séries ont été ajoutées aux six déjà existantes pour la plupart des dimensions.

Diamètre métrique des tuyaux				Diamètre des tuyaux en fer			
Nominal		Réel		Nominal		Réel	
(mm)	(po)	(mm)	(po)	(mm)	(po)	(mm)	(po)
90	3	91	3,58	89	3	88,9	3,500
110	4	111	4,37	114	4	114,3	4,500
160	6	161,5	6,36	168	6	168,3	6,625
200	8	201,5	7,93	219	8	219,1	8,625

Nouvelles séries de tuyaux			Séries de tuyaux existantes		
(lb/po <sup>2</sup> )	Nominal (kPa)	Réel (kPa)	(lb/po <sup>2</sup> )	Nominal (kPa)	Réel (kPa)
36	250	248	45	315	310
145	1000	1000	60	400	414
200	1370	1379	80	560	551
			100	710	689
			125	900	862
			160	1100	1103

Les nouvelles séries de tuyaux représentent la pression maximale d'exploitation pour des conduites d'eau à 23 °C (73 °F), avec une longévité de plus de 50 ans et un coefficient de sécurité approprié.

Les longueurs de tuyaux droits standard de 38, 50 et 60 pi sont progressivement remplacées par des longueurs métriques de 12, 15 et 20 m (39,4, 8,2 et 65,6 pi).

Le système métrique n'a pas été introduit pour les tuyaux de plus petit diamètre, 2 po ou moins, et ne le sera sans doute pas de sitôt. Les tuyaux de 3/4 de po et 1 po sont de dimensions C.T.S. et I.P.S.; les tuyaux de 1 1/2 po et 2 po ne sont fabriqués qu'en dimensions I.P.S. Les longueurs de serpentins pour les tuyaux non isolés, normalement de 250 ou 500 pi, sont progressivement remplacées par des longueurs de 100 m (328 pi).

L'industrie canadienne de la construction avait décidé que janvier 1978 serait la date limite pour l'adoption du système métrique, mais la conversion ne s'est pas faite uniformément. Vu la résistance de divers fabricants, concepteurs et acheteurs de canalisations d'eau et d'égout, le passage au système métrique a été freiné, voire abandonné. Dans de nombreux cas, on s'est contenté d'une conversion métrique de transition.

À l'origine, le gouvernement fédéral avait recommandé qu'on fasse la conversion directe des diamètres nominaux (conversion métrique de transition), jusqu'à ce que l'industrie s'adapte à la situation. Ainsi, un tuyau de 1 po deviendrait un tuyau de 25 mm; un tuyau de 2 po ferait place à un tuyau de 50 mm. Ces lignes directrices furent une source de confusion quand il existait plusieurs calibres pour le même diamètre nominal. C'est pourtant la méthode que suit actuellement le ministère des Travaux publics des Territoires du Nord-Ouest. La norme ONGC 41-GP-25M, qui donne les dimensions métriques correctes des tuyaux en polyéthylène, devrait remplacer le système métrique de transition fréquemment utilisé.

Dans le cas des canalisations d'eau, des raccords de compression en laiton sont presque toujours utilisés pour relier le réseau et la tuyauterie de la maison, ou pour faire la connexion avec la conduite maîtresse ou le dispositif d'arrêt principal. Ces raccords sont donnés ici, comme par la plupart des fabricants, en diamètres C.T.S. et I.P.S. de 2 pouces maximum. La compagnie Du Pont sait, par expérience, qu'il est presque toujours impossible d'obtenir des raccords I.P.S. dans des délais de livraison raisonnables. Pour cette raison, elle favorise actuellement l'utilisation de canalisations d'eau d'un diamètre C.T.S. de 3/4 de po ou 1 po. Les prescriptions doivent toujours inclure des raidisseurs en acier inoxydable (qu'il est presque impossible de trouver en diamètre I.P.S.), à moins que le fabricant des raccords de compression ne garantisse que le système peut fonctionner sans ces pièces.

**Isolation et chemisage.** — Il y a quelques années encore, on choisissait généralement les matériaux isolants en fonction de leur disponibilité, de leur facilité d'installation sur le chantier et de leur longévité. Les types d'isolants étaient très divers: mousse sèche, sable, amiante, silicate de calcium, mousse de verre et fibre de verre, ou matériaux plus modernes comme la mousse de polystyrène ou de polyuréthane expansée et pré-moulée. On appliquait généralement ces matériaux pendant ou après la pose des tuyaux. Des dégâts considérables se produisaient pendant l'expédition, l'entreposage ou à l'installation: les pertes s'élevaient souvent à 30 p. cent. De plus, la pose de ces matériaux exigeait un personnel qualifié, une main-d'oeuvre supplémentaire et une enceinte protégée sur le chantier, ce qui entraînait des coûts élevés d'installation. La plupart des matériaux, vulnérables à l'eau et sujets aux dégâts mécaniques, devaient souvent être remplacés après quelques années.

Depuis quelques années, un changement très important s'est produit dans le secteur des isolants utilisés pour les réseaux de canalisations dans le Nord. De plus en plus, on emploie de la mousse de polyuréthane rigide, appliquée en usine, avec une enveloppe de polyéthylène extrudé.

Depuis 1976, on note une tendance générale à l'amélioration de la qualité des isolants utilisés pour le système SCLAIRCOR. De plus en plus, des facteurs aussi importants que la préparation des tuyaux, l'épaisseur de la mousse isolante et des parois des tuyaux sont précisés, alors qu'ils étaient laissés auparavant au jugement du fournisseur. La compagnie Du Pont a institué un programme complet de contrôle de la qualité de sa mousse isolante, dans le cadre duquel on mesure l'épaisseur de l'isolant ainsi que ses variations pour toutes les longueurs de tuyaux expédiées.

Étant donné que l'infiltration d'eau dans l'isolant pose de sérieux problèmes pour les réseaux souterrains, une gaine en polyéthylène extrudé, à densité élevée, avec une sous-couche de mastic butyle, figure généralement dans les prescriptions du fabricant. On se sert de manchons en matériau thermorétrécissant pour imperméabiliser les demi-coquilles en mousse de polyuréthane posées aux extrémités des tuyaux. Malgré ces précautions, quelques installations du Nord ont connu des problèmes suite à des infiltrations d'eau au niveau de l'isolant.



Une canalisation principale SCLAIR-COR de 20 po est suspendue sous le nouveau pont de la Welland River à Niagara Falls. On a utilisé une gaine isolante en acier de 2 po, ainsi qu'un système de deux câbles chauffants. On a joint en continu les 620 pi de tuyaux, puis on a poussé et tiré la canalisation au moyen de rouleaux pour la faire passer dans un conduit, sous le pont.



Figure 6 Welland, Ontario, 1978

Pour cette raison, les extrémités de l'isolation thermique sont maintenant revêtues d'un scellant au mastic. Les infiltrations d'eau, extrêmement rares, ne peuvent se produire que si la mousse est exposée à l'eau (lorsqu'il n'y a pas d'enveloppe ou de gaine), avec une pression positive. L'eau est une source de problèmes pour la raison suivante: elle se fraie un passage dans le conduit du ruban chauffant, chemine le long de ce conduit et pénètre alors d'autres éléments. Généralement, il ne se produit pas d'infiltration dans le cas des réseaux ayant peu d'accessoires. Le problème se rencontre surtout avec les réseaux complexes d'eau et d'égout qui comptent de nombreux raccords et regards de visite. On en déduit que l'eau pénètre le plus souvent dans un système par le biais des accessoires, ce qui montre l'importance des précautions à prendre à l'étape de la construction. Il est essentiel de faire une inspection finale pour s'assurer que le réseau est étanche à l'eau, avant de remblayer les tranchées.

En dépit des conséquences néfastes qu'il importe d'enrayer, il nous a été difficile de nous renseigner au sujet de l'infiltration d'eau. En cas de difficultés, ceux qui sont impliqués semblent généralement moins soucieux de chercher une solution que de trouver un bouc émissaire. Tant qu'une étude d'ensemble de la situation réelle ne sera pas faite, les fournisseurs ne pourront que spéculer sur les mesures à prendre pour corriger la situation.

On sait maintenant que l'enveloppe qui protège l'isolant est tout aussi importante que l'isolant lui-même. C'est pourquoi on a presque éliminé dans le Nord l'emploi des gaines en polyéthylène, qui ont toujours des joints.

L'usage d'une gaine en métal extrêmement robuste, lourde et rigide s'impose généralement quand le tuyau est destiné à être posé au-dessus du sol. L'éventualité de dégâts mécaniques est à envisager. Si une gaine en polyéthylène est à découvert pendant l'entreposage, ou une fois installée, elle peut se détériorer; elle doit contenir au minimum 2 p. cent de noir de carbone pour ne pas se détériorer au contact des rayons ultra-violet.

L'industrie des isolants connaît des progrès intéressants. Les Territoires du Nord-Ouest et le Yukon, où SCLAIRCOR est le plus répandu, ont profité de ces progrès.

Quand SCLAIRCOR a été mis sur le marché pour la première fois, l'élément principal consistait en un tuyau en polyéthylène placé au centre d'un cylindre isolant en mousse, avec ou sans câble chauffant. Deuxième étape: on a doté le tuyau d'un conduit pour le câble chauffant.

Ensuite, Du Pont a mis sur le marché des canalisations d'eau de petit diamètre, installées dans une conduite pré-isolée. Cette innovation a été un succès surtout pour les canalisations d'eau jumelées car on épargnait le coût de l'isolation de deux tuyaux, et on pouvait accéder facilement aux canalisations pour effectuer des modifications ou des réparations. Ce système a été appliqué pour la première fois à Faro, dans le Yukon.

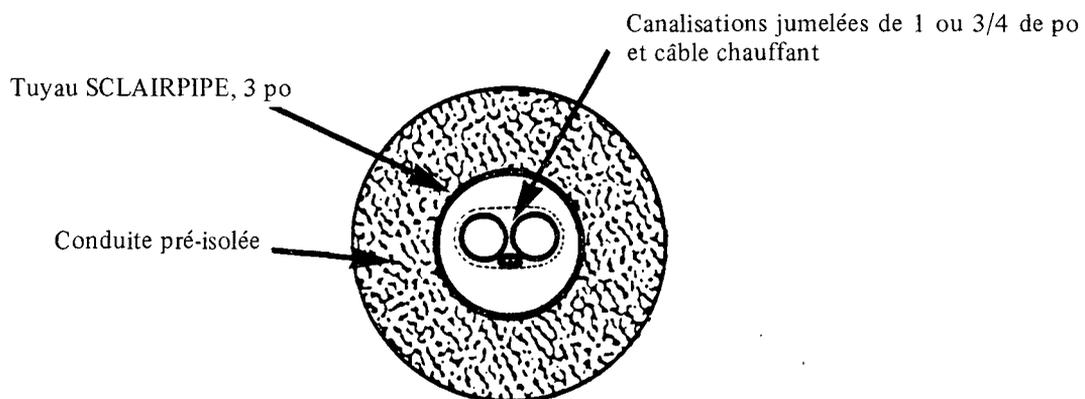


Figure 7 Canalisations jumelées d'eau recirculée

Dans certains cas, ce système a été utilisé pour des canalisations d'eau de petit diamètre sur des "sections stagnantes" d'un réseau (2).

Après ce succès, on a réuni dans un même conduit une canalisation d'eau et une canalisation d'égout. Ce système, interdit par les codes du bâtiment de la plupart des provinces, a été bien accepté par les Territoires du Nord-Ouest. Il a été appliqué pour la première fois (voir figure 9a) à Rankin Inlet (3). Les difficultés que posait le raccordement des petites canalisations prises dans l'isolant l'ont emporté sur les avantages obtenus.

Finalement, on a remplacé le tracé en U du câble chauffant par un conduit circulaire (figure 9b) pour éliminer les infiltrations; il en est résulté de nouvelles difficultés pour le raccordement des canalisations. Différentes versions de ce modèle ont été appliquées, avec plus ou moins de succès.

En vue de réduire les problèmes de raccordement, on a adopté un troisième concept en 1978, à Rae-Edzo (figure 11) et à Frobisher Bay (phase III (4) du projet). Il s'agissait de combiner de différentes façons des canalisations d'eau de différents diamètres.

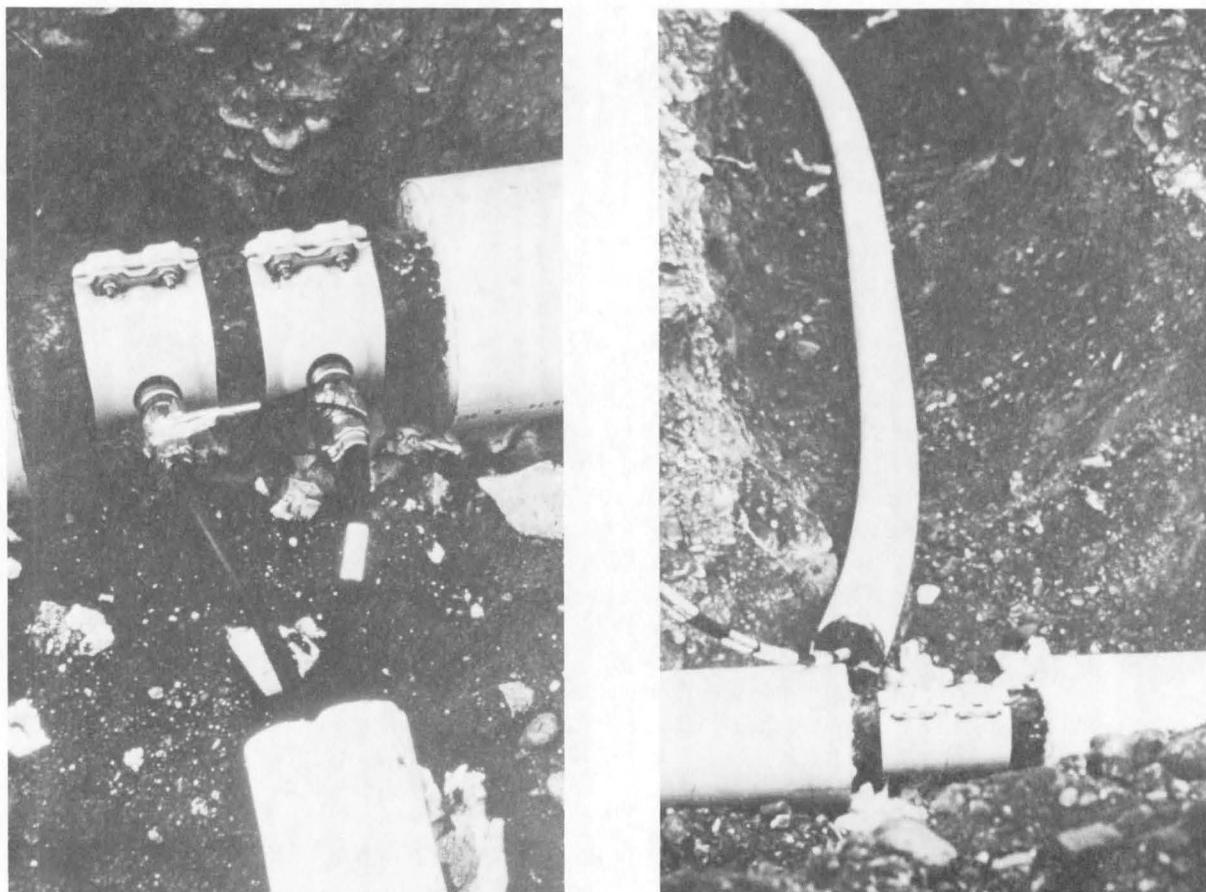


Figure 8 C'est à Faro au Yukon, en 1974, qu'a été installée pour la première fois une conduite SCLAIRCOR pour canalisations de branchement. La tuyauterie métallique existante a été remplacée à cause d'importants problèmes de corrosion et de détérioration des matériaux gélifs. Le nouveau système se compose de canalisations de branchement de 3/4 de po et de 1 po qui passent dans une conduite de 3 po et aboutissent à une pompe de circulation située au sous-sol des habitations. Les canalisations sont chauffées par un câble de 2 1/2 W/pi. Le système donne généralement satisfaction et les pompes de circulation ont été enlevées dans certaines des habitations.

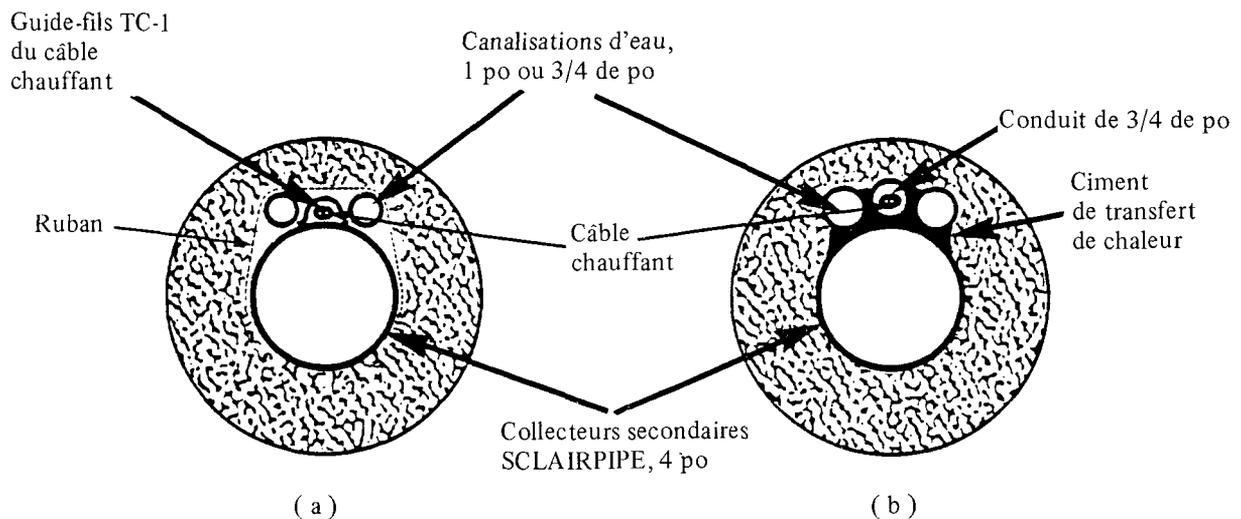


Figure 9 Canalisations d'eau et d'égout combinées (Rankin Inlet)

Les canalisations de branchement de petit diamètre sont livrées en bobines et sont donc peu aisées à redresser. À cela vient s'ajouter une autre difficulté: la conduite d'amenée a tendance à se déformer lorsqu'on pose la mousse. L'installation des canalisations sur les deux chantiers mentionnés ci-dessus a donc posé des problèmes.

En 1978, la Société d'habitation des Territoires du Nord-Ouest a fait l'acquisition d'une telle conduite d'amenée pour un projet de développement urbain à Frobisher Bay. Vu les problèmes rencontrés au début de l'année avec ce système, on a recommandé l'emploi d'un conduit cylindrique semblable à celui de la figure 13, où passeraient une canalisation d'eau de 1 1/2 po et un câble chauffant.

Il n'a pas été possible d'installer ce système en 1978, car la saison du transport des marchandises a pris fin prématurément cette année-là.

À Pond Inlet, on a posé une canalisation d'alimentation de 13 000 pi, qui comprenait une canalisation d'alimentation pré-isolée de 6 po ainsi qu'une canalisation de retour d'eau chaude de 1 1/2 po, placée à l'intérieur de la canalisation de 6 po. Ce conduit a été acheté en 1978 pour être installé en 1979. Depuis lors, le concepteur du projet a permuté les fonctions des deux canalisations, pour que la canalisation d'alimentation ne provoque pas le gel du système tout entier (voir figure 14).

Comme le montrent ces exemples, le concept originel de la canalisation SCLAIRCOR a évolué, pour en arriver à un produit qui laisse loin derrière lui le conduit unique et pré-isolé.

Il semble que dans certains cas notre concept s'apparente étroitement à celui de l'utilidor. Il présente d'ailleurs certains des problèmes propres aux utilidors (difficultés d'installation et d'entretien par exemple).

Du Pont est en faveur d'un moratoire pour l'étude de systèmes aussi complexes. La compagnie peut fournir à peu près n'importe quel système demandé. Cependant, elle ne peut garantir que le montage sur place se fera sans problème. Consciente de ses responsabilités, Du Pont ne peut que se considérer partiellement responsable si des difficultés surviennent.

Le modèle conçu pour la phase IV de Frobisher Bay, en 1979, marque probablement un progrès. Ce modèle est composé de canalisations jumelées placées dans un conduit, semblable à ce que montre la figure 7, avec un collecteur secondaire séparé et pré-isolé.

Depuis 1973, on améliore constamment les réseaux d'eau et d'égout de cette localité, située sur la côte ouest de la Baie d'Hudson. Les nouvelles installations sont faites le plus souvent à partir du matériel SCLAIRCOR.

Les photographies montrent des canalisations d'eau et d'égout combinées, au point de jonction avec les collecteurs principaux. À cette étape de l'aménagement, la conduite d'amenée comprenait deux canalisations de branchement de 1 po, placées de chaque côté du conduit du câble chauffant, à la surface d'un collecteur secondaire de 4 po. Dans de nombreux cas, la conduite d'amenée a remplacé l'utilidor en acier ondulé contenant des tuyaux en aluminium et en cuivre.

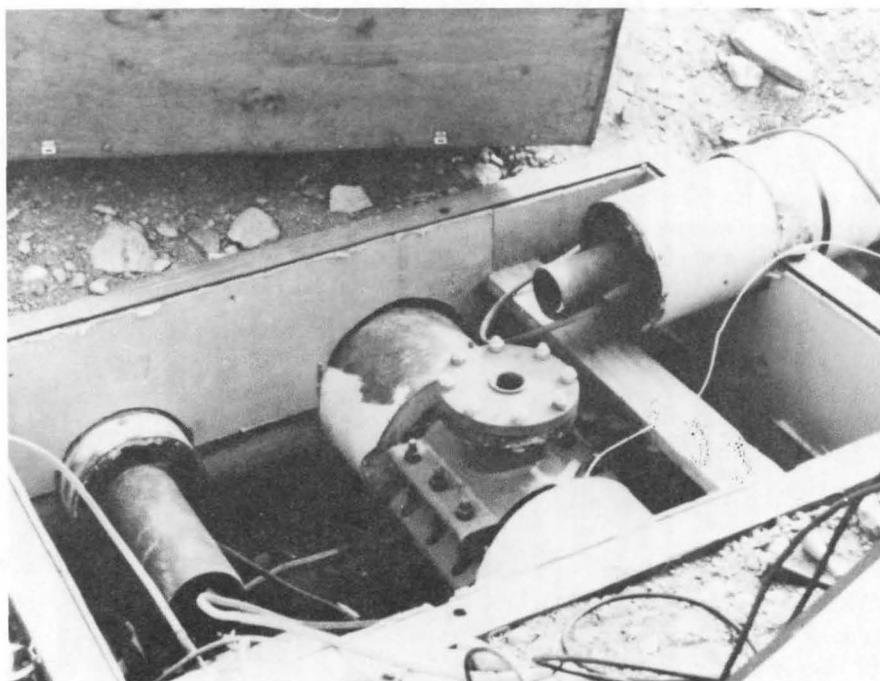


Figure 10 Rankin Inlet, T.N.-O., 1974

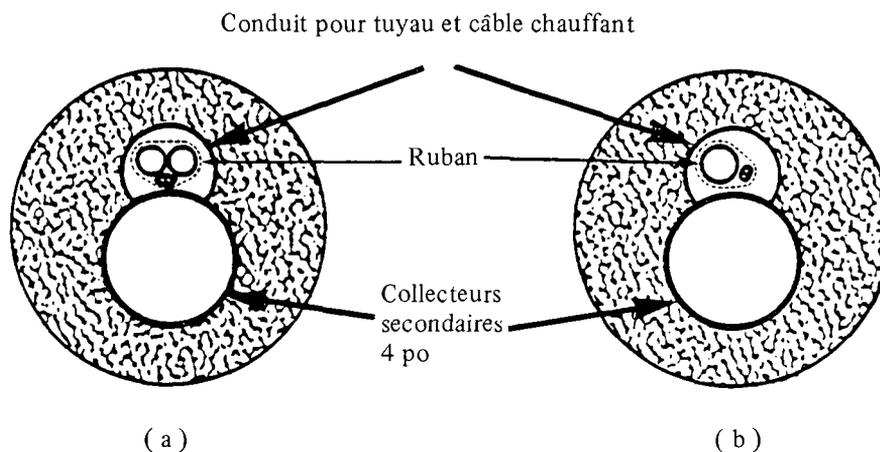


Figure 11 Canalisations d'eau et d'égout combinées (Frobisher Bay, Phase III)

Pour conclure ces remarques sur l'isolation, notons qu'au début de 1976 Du Pont a lancé sur le marché une gamme complète de "kits" d'isolants pour les raccords en polyéthylène ou en fer. Ces "kits" comprennent tous les éléments nécessaires, dont des demi-coquilles mousse de polyuréthane rigide avec enveloppes complètes en plastique renforcé avec de la fibre de verre (pour les installations au-dessus du sol), ou de mastic (pour les installations souterraines).

À compter de 1979, des raccords pré-isolés pourront être obtenus sur commande spéciale. Dans le cas de raccords à brides des "kits" sont prévus également.

L'étanchéité de l'interface entre l'isolant des raccords et l'isolant du tuyau a quelquefois posé des problèmes. En plus des matériaux adéquats pour le calfatage des joints, il est fortement recommandé d'utiliser des manchons ou des rubans thermorétractibles pour obtenir un revêtement plus robuste et plus souple — ceci est particulièrement important dans les régions très humides.

Sur plusieurs chantiers, on a utilisé des pulvérisateurs portatifs de mousse de polyuréthane pour isoler des raccords de tuyaux et des branchements complexes. À première vue, il semble que cette forme d'isolation assure une plus grande étanchéité, tout en étant beaucoup plus simple que les demi-coquilles préfabriquées.

Cependant, cette technique a occasionné des difficultés. Elle est d'un coût élevé et ne peut s'utiliser que par des températures moyennes. Il est difficile d'obtenir une épaisseur d'isolant uniforme et régulière quand la mousse est appliquée dans les conditions qui sont celles des tranchées de construction. La mousse doit être isolée du câble chauffant car la réaction exothermique peut endommager le câble; de plus, la mousse peut se loger entre le câble et le raccord, gênant le fonctionnement. La mousse a tendance à absorber l'eau; elle doit donc être complètement recouverte d'une enveloppe étanche.

**Chauffage des canalisations.** — On utilisait autrefois des machines à souder à arc pour dégeler les conduites métalliques. Cette méthode, qui figure parmi les plus anciennes, n'était fiable que si l'on pouvait maintenir un circuit continu. Il arrivait fréquemment que les hautes températures endommagent l'isolant et les autres éléments du système. De nos jours, cette technique est interdite par les codes du bâtiment, à cause des risques d'incendie et autres dangers qu'elle présente.

On utilise avec succès de l'eau chaude, du glycol et de la saumure pour chauffer les utilidors. On se sert aussi, souvent, de la chaleur résiduelle des centrales électriques, faisant ainsi un usage plus judicieux des ressources en combustible. Ces techniques de chauffage présentent deux inconvénients majeurs. Ils supposent un fonctionnement sans interruption et une tuyauterie parfaitement étanche. Si on utilise de l'eau chaude ou de la saumure,

Aucun système de chauffage n'a été installé sur les canalisations d'égout, mais les canalisations d'eau ont été dotées d'un tube de dégel. La phase III de ce projet a été réalisée en 1978. Les canalisations principales d'eau et d'égout ont été installées pour 25 habitations et pour les unités multi-résidentielles de la Société d'habitation des territoires du Nord-Ouest. Les canalisations de branchement (non illustrées), comprenaient une canalisation d'eau et une canalisation d'égout.



Figure 12 Frobisher Bay, T.N.-O., 1978

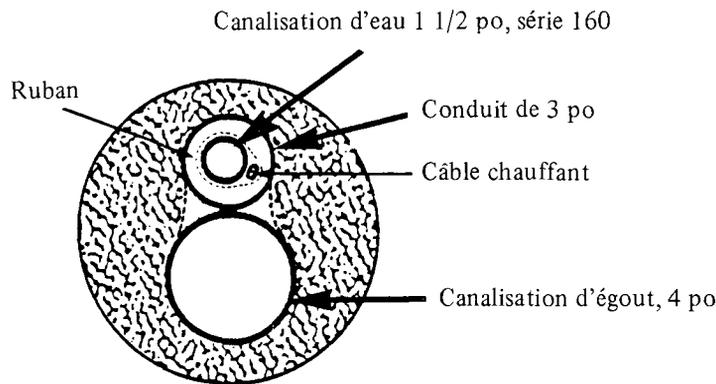


Figure 13 Canalisations d'eau et d'égout combinées (Frobisher Bay – Société d'habitation des Territoires du Nord-Ouest)

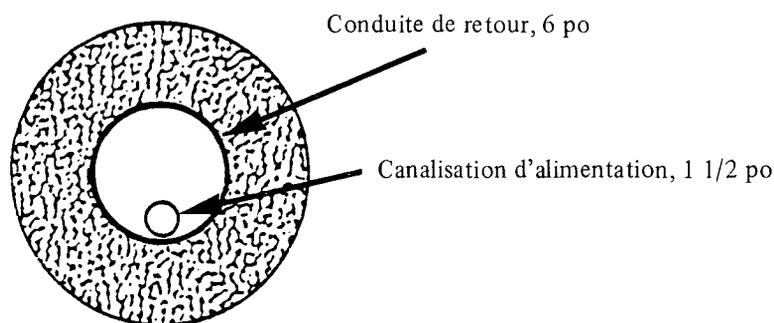


Figure 14 Canalisation d'alimentation (Pond Inlet)

un arrêt prolongé peut entraîner le gel des canalisations de chauffage, puis de la tuyauterie. Pour remettre en marche le système, on a besoin de tout un programme de dégel, et vraisemblablement des réparations (ruptures de tuyaux) seront nécessaires. La corrosion limite la longévité des tuyaux. Les infiltrations peuvent contaminer l'eau ou détruire la structure isolante. Autre inconvénient : étant donné que la température du liquide chauffant baisse le long de la canalisation, il est extrêmement difficile de contrôler la température et d'obtenir une quantité de chaleur précise en un point déterminé.

Les câbles chauffants à isolation minérale sont depuis longtemps utilisés dans le Nord. Ces câbles lourds et rigides sont simplement composés d'une résistance unique; la température et la chaleur fournie par pied dépendent de la longueur du câble dans le circuit. Des régulateurs de tension et des longueurs limites ont été recommandés pour contrôler la température des câbles, mais les températures sont fréquemment assez élevées pour endommager l'isolant et quelquefois la tuyauterie.

Depuis quelques années, divers types de câbles chauffants à faible puissance sont apparus sur le marché. On a adopté le plus courant pour le système SCLAIRCOR : c'est un câble à résistance montée en parallèle, à puissance constante par pied, appelé ECONOTRACE. À l'origine, ce câble était fait de fils conducteurs en cuivre avec un isolant en chlorure de polyvinyle, d'un fil chauffant à résistance en nichrome et d'une gaine extérieure en chlorure de polyvinyle. On pouvait fabriquer de grandes longueurs de câble, que l'on coupait ensuite sur place à la longueur voulue. La chaleur fournie restait relativement constante pour n'importe quelle température et pour n'importe quelle longueur de circuit, tant qu'on ne dépassait pas la longueur maximale de circuit recommandée.

En plus du câble chauffant, le système SCLAIRCOR comprend une gamme complète de dispositifs de commande et autres composantes essentielles.

De 1973 à aujourd'hui, environ 152 000 m de câble chauffant ont été installés suivant le système SCLAIRCOR. À l'exception de quelques cas isolés, où un mauvais fonctionnement est venu d'une mauvaise manipulation, ces câbles continuent à donner satisfaction.

Dès 1976, on posait des câbles chauffants dans la plupart des installations SCLAIRCOR. C'est à cette époque aussi qu'on a compris l'importance de la définition du rôle du câble chauffant :

Le câble utilisé dans le système SCLAIRCOR a deux fonctions. Premièrement, il doit empêcher les conduites de geler dans le cas d'événements inattendus (arrêt prolongé de l'écoulement par exemple). Deuxièmement, il doit permettre de dégeler les conduites en cas de besoin. Il n'est pas conçu pour chauffer l'eau quand elle s'écoule, et ne devrait jamais être employé à cette fin.

Un câble chauffant est nécessaire si le temps qu'il faut aux conduites pour geler est plus court que le temps d'arrêt maximal permissible, et si les conduites ne peuvent être vidées ou vidangées.

Pour choisir le câble, il faut calculer le taux des pertes de chaleur lorsqu'il n'y a pas d'écoulement à 0 °C, puis sélectionner le modèle capable de compenser cette déperdition de chaleur avec les coefficients de sécurité appropriés.

Lorsqu'un modèle de câble a été choisi, on doit s'assurer que le temps de dégel est acceptable. S'il ne l'est pas, on adoptera un câble plus fort ou un isolant plus épais. On présume ici que le système peut geler en cas de panne électrique prolongée.

On a vite compris que les câbles chauffants n'étaient peut-être pas indispensables sur certains collecteurs d'égout principaux et secondaires, ou sur certaines conduites maîtresses à écoulement continu et à tubes de dégel incorporés. Il fallait donc considérer les dégâts que risquait de faire le gel en l'absence d'un système auxiliaire de dégel rapide, versus le coût de l'installation et de l'exploitation des câbles chauffants.

On a estimé que le risque valait la peine d'être couru dans les grandes villes comme Frobisher Bay. En 1978, pour la phase III du projet, un câble chauffant a été placé uniquement sur les branchements d'abonnés. Dans le cas des conduites maîtresses, on a prévu un conduit incorporé (tube de dégel), permettant de chauffer les canalisations, de les dégeler à la vapeur ou à l'eau chaude, ou de contourner la section bloquée. L'exploitation de ce système n'en est actuellement qu'à son premier hiver, mais il n'y a aucune raison de penser qu'il ne donnera pas satisfaction.

À Pond Inlet, aucun système de chauffage n'est prévu pour le réseau d'eau et d'égout alors que tous les tuyaux sont placés dans la couche supérieure du pergélisol, juste au-dessous de la couche active. Si une section de canalisation gèle, le réseau tout entier risque de geler. D'ailleurs, le risque de gel existe même en plein été à cause de cette situation du réseau juste sous la couche active.

Le fonctionnement du réseau nécessite un écoulement continu et il dépend d'un apport de chaleur provenant du système de refroidissement de la centrale électrique avoisinante. Au besoin, on peut dégeler à la vapeur les canalisations à partir de points d'accès placés tout le long du réseau.

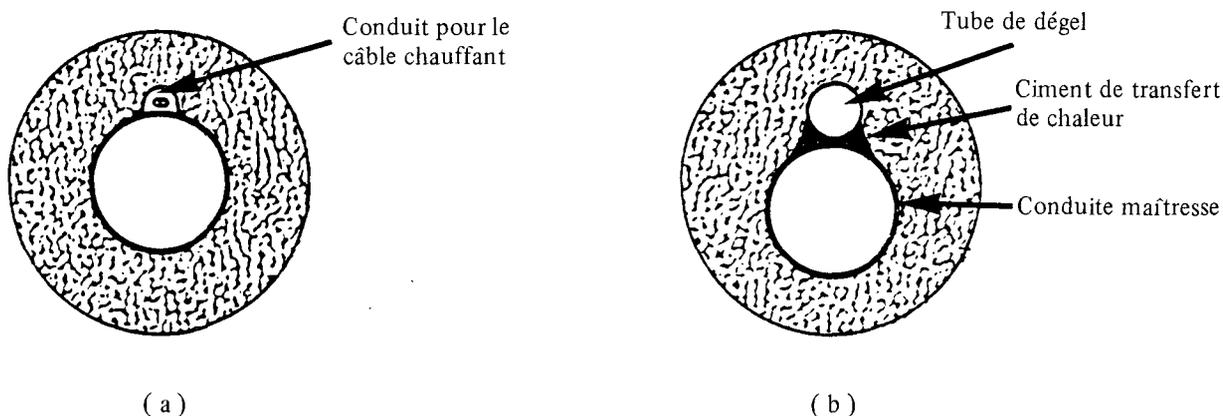


Figure 15 a) Câble chauffant standard b) Tube de dégel

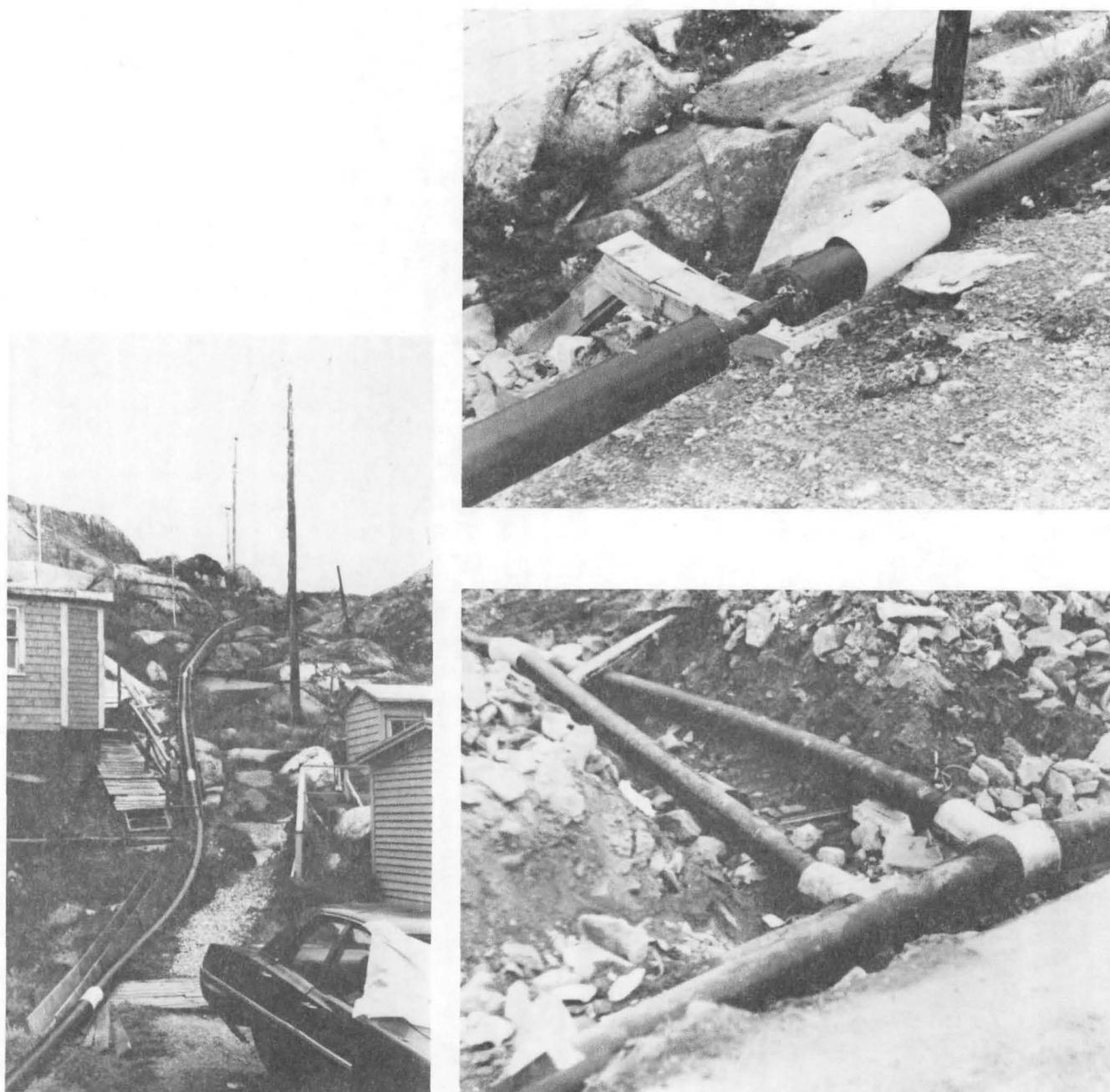


Figure 16 Environ 40 000 pi de SCLAIRCOR et de SCLAIRPIPE ont été installés sur ce chantier (Rose Blanche, T.-N., 1977) pour les services d'eau et d'égout. Les eaux-vannes sont acheminées par gravité depuis les maisons jusqu'aux stations de pompage. Elles sont alors pompées jusqu'à l'usine de traitement, car le terrain est difficile. La couverture étant peu profonde, la plupart des tuyaux ont été posés à faible profondeur dans le sol. Certains ont été installés au-dessus du sol, dans un coffrage en bois.

Vers la fin de 1978, on a apporté une amélioration importante au câble chauffant ECONOTRACE. Bien que la gaine isolante en chlorure de polyvinyle ait posé très peu de problèmes, on la trouvait trop rigide et trop cassante (surtout au moment de l'installation, à de basses températures ambiantes). On a donc remplacé le chlorure de polyvinyle par un caoutchouc thermoplastique plus flexible aux propriétés diélectriques plus solides. L'ACNOR certifie que ce matériau reste souple à des températures de -35 °C.

On a également amélioré le principe de base du câble ECONOTRACE EL. À l'origine, les fils omnibus et le câble chauffant en nichrome étaient connectés grâce à une "agrafe" mécanique. Celle-ci constituait un point faible du système quand le câble était excessivement tendu. On l'a donc remplacée par un joint soudé solide.

On fabrique maintenant des câbles de toutes dimensions avec des fils omnibus de calibre 12 pour obtenir une longueur de circuit maximale et des connexions simples. Il y a plus de modèles de câbles de 3 à 30 W/m; la longueur des circuits, les dimensions des câbles et la longueur des rouleaux sont données en unités métriques. ECONOTRACE EL est fabriqué au Canada.

Le rendement, qui est de première importance pour l'utilisateur, figure parmi les préoccupations principales de Du Pont. Au stade de l'exploitation, le câble ECONOTRACE semble assurer, mieux que tout autre câble chauffant à résistances montées en parallèle, une excellente protection antigèle tout en faisant un usage efficace de l'électricité. Il n'existe à notre connaissance aucun câble chauffant sans thermostat à limite supérieure, qui soit digne d'être recommandé pour le système SCLAIRCOR.

Un thermostat à limite inférieure permet d'actionner le dispositif et de fournir de la chaleur uniquement quand il le faut. Cependant, si on utilise un thermostat à bulbe pour actionner le câble chauffant, la performance du système n'est pas aussi satisfaisante. Bien que ces thermostats soient bon marché, ils ont une gamme de tolérance très grande, en particulier si on utilise de longs tubes capillaires.

On peut remplacer le thermostat par une commande manuelle. Le câble est alors mis en marche uniquement quand les canalisations gèlent. La sûreté de ce système dépend grandement de l'opérateur.

La meilleure solution serait peut-être d'utiliser des thermostats semi-conducteurs avec capteurs à résistances, qui sont plus sensibles. Du Pont introduit cette année de tels thermostats, qui sont réglés pour actionner le câble ou contrôler la limite supérieure de température de la gaine avec une marge de tolérance beaucoup plus étroite. Considérablement plus chers que les thermostats à bulbe, ces dispositifs ont cependant des propriétés intéressantes: circuit d'essai continu, contrôle proportionnel, longs capteurs (pour la télé-détection), circuits modulaires et boîtier amélioré.

La commande TIX4(S), contrôlant deux circuits, ne sera pas fabriquée en modèle semi-conducteur. Son équivalent est un système à semi-conducteur unique, pour haute intensité.

Les commandes pour branchements domestiques sont disponibles avec ou sans thermostat. Sauf indication contraire, des commandes manuelles sont installées.

Comme l'exige le *Code canadien de l'électricité*, les anciennes commandes sont maintenant équipées de thermostats bipolaires (T2) pour 230 V; tous les systèmes de commande à semi-conducteurs sont dotés de disjoncteurs.

L'infiltration d'eau dans le conduit chauffant a été cause de difficultés sur certains chantiers, comme Resolute et Rankin Inlet. Il n'existe sur le marché aucun câble chauffant submersible, à puissance constante par pied, qui soit approuvé par l'ACNOR. Les raisons n'en sont pas très claires; elles tiennent vraisemblablement au défaut d'imperméabilité de la gaine et à la vulnérabilité des épissures et des chapeaux d'extrémité quand la pose n'est pas parfaite. Sous pression continue (causée par la nappe phréatique par exemple), l'eau peut s'infiltrer dans l'enveloppe, provoquant éventuellement un court-circuit. Cette possibilité est minime dans le cas d'un conduit chauffant, mais le risque potentiel doit être considéré.

L'infiltration d'eau dans le conduit du câble chauffant peut également réduire le rendement de celui-ci. Si le câble choisi comporte un faible facteur de sécurité (comme il se doit), le temps de dégel du contenu des canalisations peut être excessif.

Au lieu d'éliminer le câble, on peut le tenir "au sec" grâce à un tube de dégel rond en polyéthylène, fixé à la conduite principale par un ciment servant au transfert de chaleur. Le tube de dégel est solidement raccordé à chaque joint de la conduite. Ce système, très largement utilisé pour les projets subventionnés par le ministère des Travaux publics des Territoires du Nord-Ouest, semble donner satisfaction.

Les dispositifs de chauffage interne sont, de toute évidence, les plus efficaces. Cependant, les problèmes qu'on a mentionnés pour les câbles immergés existent aussi dans ce cas. On s'est livré chez Du Pont à des expériences sur les tubes de dégel, mais d'après les résultats obtenus, ce concept n'est pas acceptable.

### INFORMATION SUR LES PRODUITS

Depuis que SCLAIRCOR est disponible sur le marché, Du Pont poursuit des recherches pour résoudre de nombreuses questions liées à l'exploitation du système. La majorité des résultats ont été, ou seront, publiés dans les communiqués *Cold Facts*. Les données principales sont résumées ici.

**Considérations thermiques.** — Le programme d'analyse thermique PIPETEMP permet de diversifier le choix des matériaux en composant des pipelines multiples. À partir des calculs thermiques classiques et des données tirées de publications récentes (5), on peut composer n'importe quel pipeline, quels que soient la combinaison tuyauterie-isolant, la profondeur d'enfouissement, la température et la conductivité du sol, les conditions d'installation au-dessus du sol, etc. On peut également étudier n'importe quel type de fluide acheminé par pipeline, quel que soit le débit, pour toutes températures d'entrée ou de sortie. Enfin, on peut évaluer l'efficacité du câble chauffant ainsi que le degré de fonte autour du tuyau.

Il importe de souligner que la qualité de l'information recueillie dans le cadre de ce programme dépend grandement de la précision des données de base. Si une étude exige qu'on formule des hypothèses, elles devront être fondées sur les conditions les plus défavorables que peut présenter la situation étudiée.

**Autres programmes.** — Le concepteur peut avoir recours à divers autres programmes. Mentionnons entre autres HYDTRAN pour l'analyse des perturbations hydrauliques transitoires (coup de bélier) et SESME pour l'évaluation des contraintes pour applications maritimes.

**Étude des contraintes et des déformations thermiquement induites.** — Pour des raisons pratiques et esthétiques, les canalisations sont le plus souvent installées sous terre. Parfois, cependant, il est préférable de les installer au-dessus du sol. Mais dans les deux cas, les canalisations sont soumises à des changements de température.

Si la canalisation n'est pas ancrée, un changement de température entraîne une dilatation ou une contraction accompagnée de peu (ou pas) de tension.

Si la canalisation est ancrée, un changement de température entraîne une tension et une charge supplémentaires sur les structures d'ancrage.

De nombreux renseignements sont maintenant disponibles concernant les facteurs suivants: coefficient de dilatation thermique, module d'allongement versus température et durée, méthodes de calcul de la déformation pour les canalisations fixes, de la contrainte exercée sur les canalisations ancrées, de la déformation et de la contrainte que subissent les canalisations partiellement fixes. Les limites du rendement des composantes, dans ces conditions extrêmes, sont maintenant bien définies.

Les concepteurs peuvent obtenir assistance et conseils pour la conception des structures d'ancrage.

**Cintrage sur place du SCLAIRCOR.** — Il existe maintenant des méthodes pour déterminer le rayon de cintrage minimum autorisé et la charge nécessaire pour cintrer un tuyau pré-isolé en fonction d'un rayon précis, et ce pour diverses températures.

**Charge provoquée par le gel sur les canalisations souterraines.** — Un certain nombre d'études ont été faites récemment pour expliquer les effets de la pénétration du gel sur la poussée exercée par la couche de terre située au-dessus de la canalisation.

Ces études indiquent par exemple que, si le gel pénètre à une profondeur de 2 pi et si la canalisation est recouverte d'une couche de terre de 4 1/2 pieds, la poussée verticale exercée sur la canalisation double. On doit tenir compte de ce paramètre en particulier quand les canalisations sont enfouies dans la couche active.

**Canalisations aériennes, contraintes et flexions.** — Il arrive fréquemment qu'on doive poser les canalisations SCLAIRCOR sur un guide-canalisation, un pont ou un support. Il faut alors non seulement considérer les contraintes normales causées par les changements de température, par le cintrage ou le serrage, mais aussi les contraintes et les flexions que subissent les canalisations entre les points d'appui.

Il existe maintenant une méthode qui permet de déterminer l'écart maximal autorisé entre les supports.

Même si le tuyau pré-isolé ne subit pas de contraintes excessives, le fléchissement de la canalisation entre les supports ne doit pas être toléré pour des raisons pratiques ou esthétiques. On peut déterminer la flexion, à condition de connaître le nombre d'intervalles entre les supports, et de savoir si la canalisation est attachée à certains supports.

**Limites de compression.** — Il est possible de déterminer la compression maximale autorisée pour SCLAIRCOR (poussée exercée par la terre, charges utiles, charges hydrauliques, serrage, etc.).

Ces calculs s'appuient sur la résistance à la compression de la mousse isolante correspondant à la contrainte de compression maximale autorisée.

Les limites du rendement du système sous une charge de compression sont maintenant bien définies.

**Gel.** — SCLAIRPIPE ne se fissure pas lorsque son contenu, pressurisé au taux de pression des canalisations, subit des cycles de gel-dégel. Ceci est confirmé par de nombreuses expériences faites sur des chantiers du Nord, pour lesquelles on a laissé geler les conduites.

Au cours des essais en laboratoire, la dilatation due au gel s'est établie à environ 6,8 p. cent maximum, avec une dilation résiduelle de moins de 1 p. cent après le dégel. Ces valeurs, très proches de celles prévues, s'inscrivent dans des limites acceptables. Un essai de destruction accélérée a démontré que les échantillons ne perdaient rien de leur résistance et durée de vie utile caractéristiques.

Les essais ont été répétés avec des tuyaux partiellement isolés pour concentrer la pression de dilatation sur la section isolée lors du gel. De nouveau, aucun effet nuisible n'a été noté.

**Dégel.** — En cas de fonctionnement défectueux ou en l'absence d'un mécanisme externe de chauffage électrique des conduites, on peut dégeler SCLAIRPIPE à l'eau chaude ou à la vapeur — à condition que les canalisations ne contiennent pas de produits chimiques dangereux.

Nos essais et nos réalisations pratiques tendent à montrer que le dégel par vapeur à faible pression n'endommage pas les conduites. Cependant, l'eau chaude est préférable à la vapeur: l'eau chaude est plus efficace et il y a moins de chances qu'elle ramollisse temporairement la paroi du conduit. Un ramollissement peut détériorer de façon permanente la canalisation si elle est posée sur une assise instable ou si elle subit de fortes charges extérieures.

À titre de précaution ultime, on recommande d'utiliser un tube flexible pour injecter la vapeur ou l'eau, afin de ne pas rayer la surface intérieure du conduit.

**Tube intérieur de dégel.** — Nous avons récemment procédé à des expériences en laboratoire pour déterminer s'il était possible d'installer un tuyau de dégel à l'intérieur des conduites. L'installation était relativement simple.

Cependant, quand l'eau contenue dans la conduite a gelé, elle a provoqué la rupture du tube de dégel. Cette solution n'est donc pas viable, à moins que le liquide contenu dans le tube de dégel ne soit incompressible.

## RÉSUMÉ

Le système de canalisations pré-isolées SCLAIRCOR a atteint un stade de développement significatif. Nous pensons qu'il nous appartient, en tant que vendeur, de faire des suggestions dans des secteurs d'activité relevant directement — ou même indirectement — de nos responsabilités. Nous sommes prêts à collaborer pleinement avec les utilisateurs en ce qui concerne l'application pratique de ces suggestions.

**Sélection et étude des matériaux.** — Nous sommes convaincus qu'il faut maintenant éviter la sophistication des modèles de base existants. Les données sur les matériaux utilisés abondent: il importe avant tout de normaliser les matériaux et les composants du système.

En ce qui concerne les problèmes liés à l'infiltration d'eau et aux câbles de chauffage électrique, nous croyons que la collaboration est essentielle (en particulier avec le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest), pour trouver au plus vite des solutions.

Une norme métrique pour les tuyaux en polyéthylène est déjà d'usage courant, mais on ne devrait pas l'appliquer à la phase de la sélection et de la conception, la conversion métrique devant se faire pour les produits achetés.

Les groupes intéressés devraient concevoir des normes d'emballage assez complètes pour les cas où un emballage spécial ou coûteux est nécessaire.



Figure 17 Rupture d'un tube intérieur de dégel

L'ingénieur-concepteur doit définir clairement la responsabilité du fournisseur en ce qui a trait au choix des matériaux et à la conception du réseau.

**Soumissions.** — Dans l'intérêt du fournisseur et de l'entrepreneur, il serait bon d'étendre la période allouée à la fourniture des matériaux et à la construction. Pour cela, il faudrait que la conception des projets et la soumission des offres devancent davantage les travaux. Advenant des imprévus au moment de la livraison, on disposerait du temps nécessaire pour résoudre ces problèmes et ceux qui se présentent sur le chantier.

Pour de nombreux projets de réseaux de canalisations dans l'Arctique, l'étude, le choix des matériaux, l'achat et parfois même la livraison devraient se faire pendant l'année qui précède la construction.

De plus, il faudrait considérer la contribution canadienne aux projets, en ce qui concerne les produits manufacturés.

On devrait enfin tenir compte de l'aide technique et logistique apportée par les fournisseurs — ceci pour s'assurer à long terme la collaboration d'entreprises dignes de confiance.

**Construction.** — Des réunions de planification préalable sont essentielles au succès d'un projet, et c'est au client ou à son ingénieur qu'il incombe de les organiser. Les représentants des divers participants devraient y être invités: vendeur et représentant (fournisseur); surveillant de projet et contremaître (entrepreneur); ingénieur-concepteur et inspecteurs de chantier (ingénieur); directeur de projet (client). Les différents domaines de responsabilité, (conjointe ou séparée), devraient être clairement définis; toutes les personnes concernées devraient savoir qui contacter en cas de besoin. La communication des informations est de première importance lors des étapes préliminaires d'un projet.

Un programme commun d'homologation devrait être mis sur pied par les principaux clients ou utilisateurs, pour veiller à la qualité des travaux de soudure sur les chantiers. Tous les entrepreneurs spécialisés dans le raccordement de canalisations pré-isolées en polyéthylène devraient employer un personnel qualifié et agréé. Nous accepterions de participer activement à des programmes de formation et de certification pour parvenir à ce but.

L'achat d'équipement de soudure est un point auquel les clients et les entrepreneurs devraient accorder plus d'attention. Même si nous avons en stock plusieurs centaines de machines et jeux d'outils pour le soudage bout à bout ou par emboîtement, il nous est difficile de livrer du matériel pour les réparations ou modifications dans des délais très courts, quand les chantiers de construction sont éloignés de nos points de vente.

**Coordination des livraisons.** — Une meilleure coordination des livraisons nous semble essentielle, en particulier quand une partie de la livraison se fait par mer.

**Exploitation et entretien.** — Cette question est fréquemment négligée, voire oubliée, dans la fièvre qui accompagne la conception et la réalisation d'un projet.

Tout projet devrait inclure un manuel d'exploitation et d'entretien. Cette étape n'étant généralement pas considérée comme prioritaire, le personnel du gouvernement local finit souvent par avoir des désaccords avec



Figure 18 En 1978, un nouveau système de distribution d'eau a été mis en service à la Station Alert sur l'île Ellesmere. On a utilisé des canalisations SCLAIRCOR pour construire la conduite d'alimentation en eau de 8 200 pi qui alimente la nouvelle station, et pour relier la station à la base. Tous les tuyaux étaient protégés par une épaisseur d'isolant de 3 po, une gaine en acier galvanisé et un câble chauffant.

les groupes chargés de la conception et de l'achat. Pour nous, quand la phase de construction prend fin, seule la première moitié du projet est terminée. En effet, ceux qui exploitent une installation jugent de ses résultats en fonction du rendement et de la facilité d'entretien. C'est pourquoi le personnel exploitant devrait participer à la conception et à la construction, pour saisir le mode de fonctionnement du système dont il sera responsable par la suite.

C'est au stade de la conception qu'on devrait prévoir les "kits" de réparation, les pièces de rechange et le matériel de soudure dont on aura besoin sur place.

### CONCLUSION

En tant que l'un des grands fournisseurs auxquels les agences de services publics font appel, Du Pont attache une extrême importance à une mise en valeur planifiée du Nord. Nous croyons que la responsabilité des projets d'aménagement de services publics est celle de tous les participants.

Du Pont, qui se trouve dans une position relativement neutre, a pris connaissance de l'existence de nombreux points susceptibles d'une amélioration, dans des domaines qui ne sont pas directement reliés au sien. Nous sommes prêts à en discuter avec les parties intéressées.

Nous espérons que notre exposé sur la mise au point d'un système spécialement conçu pour le Nord contribuera à la mise en valeur de cette région.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) O'Brien, E.T. et A.D. Whyman, *Insulated and Heat Traced Polyethylene Piping Systems – A Unique Approach for Remote Cold Regions*, Utilities Delivery in Arctic Regions, rapport EPS 3-WP-77-1, Edmonton, mars 1976.
- 2) Cameron, J.J., *Shallow Buried Utilities in Cold Regions, Preliminary Report on Faro Y.T. Utility Expansion Study Site*, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Edmonton (Alberta), avril 1975.
- 3) Foster, R.R., Arctic Water Supply, dans *Water and Pollution Control*, mars 1975.
- 4) Reid, A.D., *Frobisher Bay, N.W.T. Underground Facilities*, Utilities Delivery in Northern Region, mars 1979.
- 5) Thornton, D.E., *Calculation of Heat Loss from Pipes*, Utilities Delivery in Arctic Regions, rapport EPS 3-WP-77-1, Edmonton, mars 1977.

QUATRIÈME SÉANCE  
GROUPE DE DISCUSSION  
SUR LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD

INTRODUCTION À LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD

Gary W. Heinke  
Département du génie civil  
Université de Toronto

À titre d'introduction, j'aimerais souligner que les programmes de protection et de lutte contre les incendies ont les mêmes buts dans les localités du Nord que partout ailleurs: minimiser les pertes de vies humaines et les dommages matériels, en réduisant le nombre et la portée des sinistres, grâce à un système efficace et économique.

La plupart des localités du Nord étant petites, elles n'ont pas les moyens financiers ou administratifs de posséder un système adéquat de lutte contre l'incendie. C'est d'ailleurs un problème qu'elles partagent avec les petites agglomérations des autres régions. Mais la situation est rendue particulièrement critique dans le Nord en raison de divers facteurs: climat rigoureux (basses températures, vents violents et poudrerie), longueur de la saison pendant laquelle il faut chauffer les maisons, sécheresse de l'air et donc des matériaux, distances entre les localités et souvent, manque de routes et d'infrastructures adéquates (réseaux d'adduction ou transport par véhicule). Pour trouver le système le plus avantageux pour une localité, il faut donc considérer: les systèmes existants de distribution d'eau, les systèmes d'alarme, les méthodes utilisées par les habitants pour se protéger contre l'incendie, les techniques de lutte contre les incendies qui ne font pas usage de l'eau, les pratiques et règlements dans le secteur de la construction, etc. On doit aussi connaître les forces existantes, savoir s'il existe une brigade de pompiers, composée de bénévoles ou de salariés, connaître le degré de sensibilisation de la population aux méthodes de lutte et de prévention contre l'incendie. Puis il faut rechercher un régime équitable de paiement, car il faut bien que quelqu'un paie la note. Enfin, il faut considérer le coût du système adopté et le coût de l'assurance par rapport à ce que représente, pour la localité, la perte de vies humaines et de biens matériels. En pratique, la sécurité incendie est souvent considérée comme un élément secondaire quand on étudie l'aménagement des services publics. Dans le cas d'un réseau d'adduction, par exemple, on donne volontiers une importance prioritaire aux normes imposées par les compagnies d'assurance, pour obtenir une réduction des coûts. Or ces normes, élaborées pour les localités du Sud, ne sont pas toujours applicables dans le Nord. Il est regrettable qu'aucun représentant des compagnies d'assurance ne soit présent à ce colloque, étant donné que le sujet dont nous traitons les concerne directement et qu'ils pourraient nous apprendre beaucoup.

Un système de lutte contre l'incendie doit avant tout être efficace. Or, comme le savent beaucoup d'entre nous, un système parfaitement bien conçu pourra ne pas fonctionner normalement le moment venu, s'il est mal entretenu ou mal exploité. Pour protéger véritablement les localités du Nord, il faut, à mon avis, connaître leurs besoins réels, établir des objectifs avec précision, concevoir puis entretenir un système public et privé de prévention et de lutte contre les incendies. La collectivité ou l'organisme gouvernemental responsable (bureau du directeur des incendies, par exemple), doit prendre les mesures nécessaires pour doter la localité d'un corps de pompiers composé de bénévoles et/ou de salariés. Finalement, les compagnies d'assurance doivent être mises au courant des possibilités réelles de cette méthode, ce qui suppose qu'on leur présente des résultats concrets. Je sais par expérience que des collectivités qui assument leurs responsabilités avec sérieux réussissent à financer l'installation d'un système qu'elles entretiennent soigneusement et mettent sur pied une brigade de pompiers consciencieux, n'obtiennent pourtant pas une réduction de leurs primes d'assurance contre l'incendie, tout simplement parce que ces collectivités sont trop modestes pour obtenir un tarif différentiel. Rien d'étonnant alors que les petites localités des Territoires du Nord-Ouest, de l'Ontario, du Québec ou de l'Alberta hésitent à investir dans ce domaine.

QUATRIÈME SÉANCE  
GROUPE DE DISCUSSION  
SUR LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD

LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD

Len Adrian  
Division de la sécurité  
Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

Les Territoires du Nord-Ouest sont une contrée où prévalent les situations extrêmes. Cette région, d'une superficie égale à environ un tiers du Canada, s'étend jusqu'à l'océan Arctique, la Baie d'Hudson et la Baie de James. Sa côte la plus à l'est donne sur l'océan Atlantique: Port Burwell se trouve à proximité de la pointe nord du Québec, et les Esquimaux qui y vivent se déplacent constamment entre le Québec et les Territoires du Nord-Ouest. Il est souvent impossible de se rendre par avion dans cette région, à cause du mauvais temps. Partout dans les Territoires du Nord-Ouest, les écarts de températures sont extrêmes et les vents violents. Une année, on a enregistré des vents qui soufflaient à 204 km/h à Coral Harbour. Ces conditions, auxquelles viennent s'ajouter la poudrierie et le déplacement des congères, rendent très difficile une protection adéquate des localités.

J'ai souvent eu l'occasion de lutter contre un incendie par des températures extrêmement basses, la plus extrême étant de -56 °C. Dans ce dernier cas, il s'agissait heureusement d'un petit incendie que nous avons pu éteindre rapidement.

Les Territoires du Nord-Ouest sont peuplés de 46 000 habitants, dont un tiers vivent dans la région du Grand Lac des Esclaves et de ses affluents.

Un cinquième de la population vit dans le delta du Mackenzie ou le long des côtes du Mackenzie. Le reste est disséminé en petites collectivités partout dans le Nord. Les camps pour touristes, disséminés sur l'ensemble du territoire, doivent eux aussi être protégés contre les incendies. L'un de ces camps se trouve à 200 milles d'Alert, et Alert est à 400 milles du Pôle Nord. Fournir un programme de sécurité incendie pour des localités si dispersées, sur un territoire si vaste, représente un exploit.

Le sujet dont nous traitons peut se diviser en plusieurs parties: 1) organisation du service d'incendie; 2) ordonnance relative à la prévention des incendies; 3) brigades de pompiers; 4) postes d'incendie; 5) systèmes d'alarme; 6) zonage et distance entre les bâtiments; 7) réseaux d'adduction et systèmes de distribution d'eau; 8) sensibilisations des habitants.

Je vous parlerai ce matin de l'application de l'ordonnance relative à la prévention des incendies dans les Territoires du Nord-Ouest. Certains des principes fondamentaux de la lutte contre les incendies dans les T.N.-O. peuvent également s'appliquer aux régions les plus septentrionales de toutes les provinces avoisinantes, du Québec jusqu'à la Colombie-Britannique, y compris le Yukon.

La figure 1 présente l'organigramme du service d'incendie de la Division de la sécurité. Vous remarquerez que le chef de la division est également le directeur des incendies. La Division comprend cinq sections: sécurité incendie, santé au travail, sécurité industrielle, sécurité mécanique (qui inclut la protection contre les dangers liés à l'électricité et à l'usage des ascenseurs). Une autre section, celle du travail, est rattachée de façon plus ou moins logique à la division. Cette section veille à l'application des ordonnances sur les Pratiques honnêtes et sur les Droits de la personne. La Division de la sécurité est donc chargée d'administrer toutes les ordonnances relatives à la sécurité.

Nous discuterons brièvement de l'ordonnance sur la prévention des incendies et de ses règlements, qui équivalent aux "lois" des provinces. L'ordonnance comporte certaines obligations. Son texte édicte les devoirs du directeur des incendies. Celui-ci **doit** tenir un relevé de tous les incendies qui lui ont été rapportés. Il **doit** présenter un rapport annuel au commissaire des incendies, où il fait des recommandations sur les moyens de prévenir et d'enrayer les sinistres. Il **doit** examiner les plans pour s'assurer que les bâtiments sont construits selon les normes en vigueur. Dans la plupart des cas, les normes sont les mêmes que partout au Canada. Elles comprennent le texte le plus récent du *Code national du bâtiment* et du *Code national de prévention des incendies*, du code CGA, du code et des normes de l'ACNOR, et des normes de l'ULC.

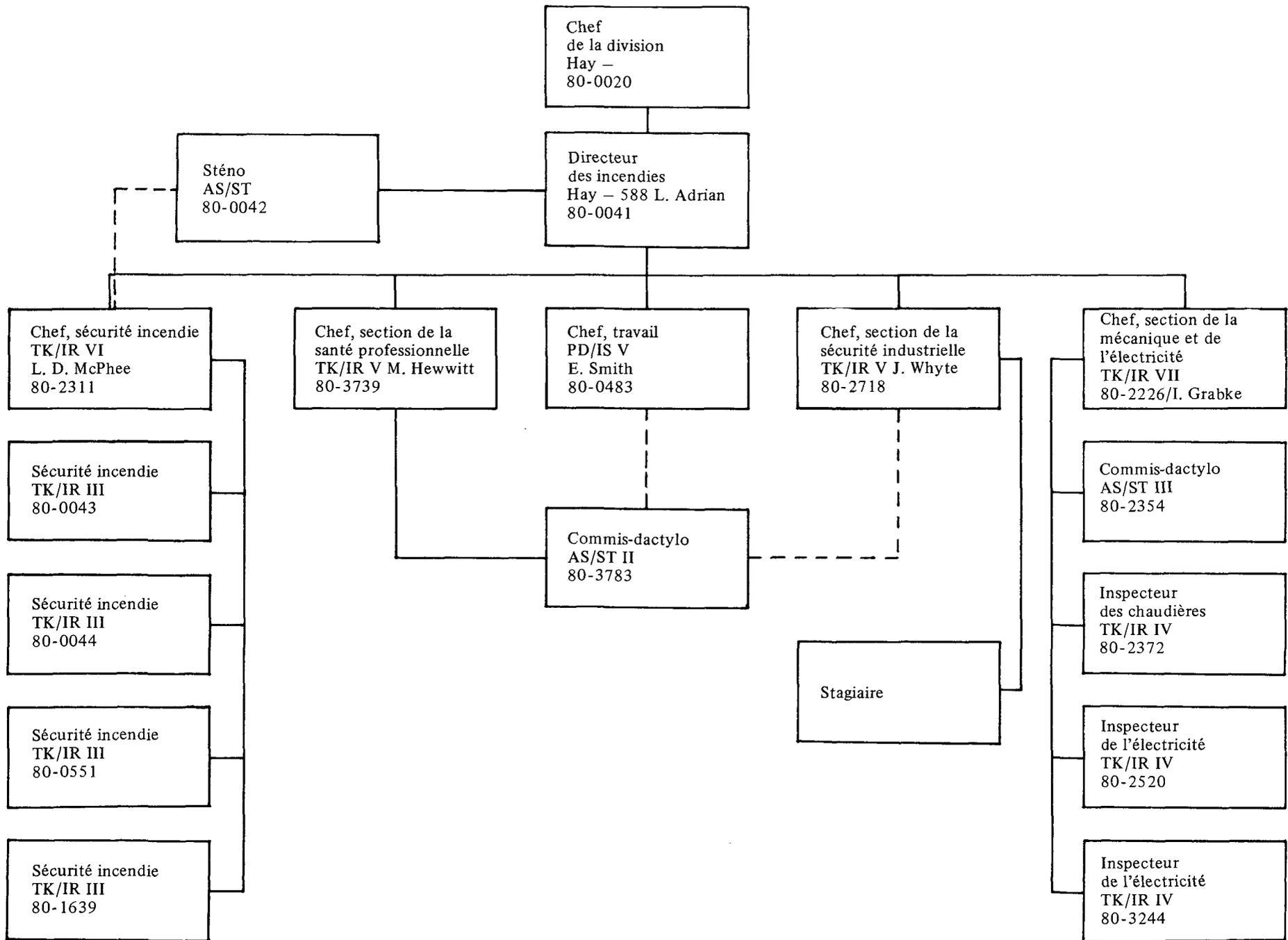


Figure 1 Organigramme de la Division de la sécurité du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest

Dans les Territoires du Nord-Ouest, c'est au directeur des incendies qu'appartient la décision en ce qui concerne les constructions temporaires (utilisation de l'équipement, occupation et durée d'utilisation du bâtiment, entre autres). Il peut autoriser l'usage de matériel nouveau. Ainsi, les panneaux en plastique renforcé à l'aide de fibre de verre et les canalisations en plastique pour la distribution d'eau ont été utilisés pour la première fois dans les Territoires du Nord-Ouest. Il existe également un ensemble de normes concernant les structures mobiles, qui sont le fruit d'une collaboration entre les Territoires du Nord-Ouest, l'Alberta, la Saskatchewan, le Manitoba, la Colombie-Britannique, le Yukon, le Québec et l'ACNOR. Nous espérons que ces normes seront intégrées au *Code national du bâtiment*, permettant ainsi d'obtenir l'uniformité partout au Canada.

Les ordonnances nous autorisent à certains écarts par rapport aux codes. Cependant, c'est là une prérogative que nous faisons rarement valoir.

Les Territoires du Nord-Ouest visent à assurer aux habitants une sécurité incendie aussi grande que possible, compte tenu des contraintes économiques. Tous les bâtiments privés ou gouvernementaux et tous les édifices publics sont équipés de détecteurs de fumée et d'extincteurs d'incendie. (M. Ryan traitera de ce sujet un peu plus tard.) Par décision du gouvernement, chaque logis doit avoir au moins deux extincteurs. À Yellowknife et à Inuvik, les règlements stipulent qu'un détecteur de fumée doit être placé à chaque endroit servant de chambre à coucher. L'arrêté municipal d'Inuvik est rétroactif. (Inuvik n'a pas eu les mêmes problèmes qu'Edmonton.)

Le Département du gouvernement local achète l'équipement de sécurité incendie pour tous les comptoirs, y compris les hameaux, mais les villages et les villes doivent se procurer eux-mêmes leur matériel. Les Territoires ont essayé d'introduire un équipement standard convenant à toutes les localités du Nord, ce qui s'est révélé impossible vu le nombre élevé de variables en jeu. Le Nord n'est pas une contrée uniforme; on y rencontre une grande variété de sols, de climats et de conditions de vie.

Il existe, dans chaque localité des brigades de pompiers. À Yellowknife, Inuvik, Frobisher Bay, Fort Smith et Eskimo Point, les équipes comptent à la fois des salariés et des volontaires; partout ailleurs, les brigades sont composées de bénévoles. Autre problème aigu: onze langues sont parlées dans le Nord, dont certaines sont peu répandues. Cependant, nos programmes de formation doivent tenir compte de tous les groupes linguistiques. Beaucoup d'Inuit de l'Arctique Est ne parlent que leur langue maternelle. Il nous faut donc communiquer avec eux dans leur langue, oralement (avec l'aide d'un interprète), ou par écrit. Mais les échanges sont difficiles car leur langue ne comporte pas d'éléments qui décrivent ne serait-ce que l'équipement de sécurité incendie le plus élémentaire. Vous pouvez imaginer les problèmes que présentent l'organisation et la formation d'une brigade de pompiers.

Les Territoires ont mis au point un complexe pour poste d'incendie qui est très fonctionnel et qui peut aisément être adapté à des conditions données. Une partie du bâtiment est composée d'un garage pour l'équipement de lutte contre les incendies; l'autre, abrite les salles du conseil, les bureaux, les toilettes et le centre de formation des sapeurs-pompiers. Dans la plupart des cas, les locaux du conseil sont également utilisés par le service des pompiers pour visionner des films, etc.

Pour une description des différents systèmes proposés, le lecteur doit se reporter à la section 12 du *Manuel d'aménagement des réseaux de services publics en climat froid* (rapport EPS 3-WP-79-2F).

**Zonage.** — La distance qui doit séparer les bâtiments fait l'objet de vives discussions. Nous exigeons que toutes les maisons en bois soient espacées d'au moins 40 pi dans les localités où l'approvisionnement en eau est inexistant ou limité, et où l'équipement de sécurité incendie est insuffisant. (La distance imposée peut être réduite si on utilise pour le revêtement des habitations des matériaux ignifuges. Si un réseau de canalisations est installé après coup, les coûts sont élevés en raison de cet impératif de zonage. Nous avons toujours recommandé qu'une parcelle sur deux soit laissée vacante dans les localités, pour le cas où un service de canalisations devrait être aménagé par la suite.

Dans les petites localités, nous n'autorisons pas la construction de complexes trop importants, à moins que la localité ne bénéficie d'un réseau d'adduction ou que le bâtiment ne soit protégé par un système d'extincteurs automatiques à eau, alimenté au besoin par un réservoir sous pression.

La sensibilisation des habitants est de première importance. Chaque année, dans nos écoles, plus de 2 000 étudiants apprennent à se servir d'un extincteur. De retour dans leur famille, ils enseignent à leurs parents ce qu'ils ont appris. Une fois qu'un habitant du Nord a vu comment fonctionne un extincteur d'incendie, il s'en souvient — car il sait que ce dispositif peut sauver des vies humaines. Des brochures, traduites en plusieurs langues par le Service de traduction du gouvernement, sont mises à la disposition de la population.

QUATRIÈME SÉANCE  
 GROUPE DE DISCUSSION  
 SUR LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD  
 OBSERVATIONS SUR LA PRÉVENTION DES INCENDIES  
 DANS LES LOCALITÉS SEPTENTRIONALES ÉLOIGNÉES

William L. Ryan  
 Directeur régional adjoint  
 Service de santé pour les Indiens, Zone Navajo

La majorité des cas de décès dans les localités septentrionales éloignées résulte d'accidents. Les incendies et les noyades sont les causes les plus fréquentes. Les incendies sont plus nombreux et plus dangereux dans les zones de climat froid que dans les zones tempérées, pour les raisons suivantes:

- 1) longueur et sévérité de la saison où il faut chauffer les maisons;
- 2) insuffisance des services de distribution d'eau et de sécurité incendie;
- 3) manque de routes adéquates et correctement entretenues;
- 4) vents presque constants, en particulier dans les zones côtières.

Il est essentiel que les habitants de ces localités connaissent les limites de leur service d'incendie (s'il y en a un, bien sûr). Les ingénieurs et les concepteurs devraient se souvenir que le feu, comme la maladie est plus facile et moins coûteux à prévenir qu'à guérir. Les programmes de sensibilisation, sur les plans collectifs et individuels, peuvent être très efficaces en matière de prévention.

Les codes et les normes de prévention des incendies en vigueur dans le Nord sont, le plus souvent, ceux des régions tempérées. Les compagnies d'assurance calculent le montant des primes en fonction de la taille des canalisations d'eau et des réservoirs de stockage. Dans la plupart des cas, cette façon de procéder n'est pas réaliste.

Il est impossible de doter les petites collectivités des réseaux d'adduction et des réservoirs de stockage qui correspondent aux normes de sécurité incendie. Non seulement parce que les coûts de construction sont plus élevés dans le Nord, mais surtout parce que les frais d'exploitation sont considérables. Pour la plupart des réseaux situés en zone arctique, l'écoulement continu est nécessaire pour compenser les pertes de chaleur et pour alimenter les branchements particuliers. Le tableau suivant indique la demande relative en énergie pour diverses canalisations avec une vitesse d'écoulement égale à 0,75 m/s.

Dans la plupart des petites localités isolées, l'eau de consommation domestique peut être fournie pendant de nombreuses années par une canalisation de 102 mm (4 po). Or, selon la plupart des codes, une conduite d'incendie doit avoir au moins 255 mm (10 po). Avec une conduite de ce diamètre, on a besoin de 4 fois plus d'énergie. Avec une pompe de circulation de 5 HP, une conduite d'eau de 102 mm, et un tarif d'électricité de \$0,35/kWh (chiffres courants pour un petit réseau), il en coûterait \$940 avec une canalisation de 102 mm (4 po), mais \$3 720 avec une canalisation de 204 mm (8 po), pour assurer le débit requis. C'est là une différence qui, pour un petit système, peut être synonyme de succès ou d'échec.

Diamètre de la canalisation distributrice en mm (po)	Débit d'eau anti-incendie en m <sup>3</sup> /s	Énergie (comparaison avec 1,0 pour une canalisation de 102 mm ou 4 po)
102 (4 po)	0,0061	1,0
153 (6 po)	0,0138	2,3
204 (8 po)	0,0245	4,0
255 (10 po)	0,0383	6,3

Si l'on ne parvient pas à circonscrire un incendie quelques minutes après qu'il se soit déclaré dans une maison ou un petit bâtiment, il y a de fortes chances qu'il détruise complètement la bâtisse. Selon les statistiques, 90 p. cent des incendies peuvent être éteints avec moins de 200 gallons d'eau, à condition qu'on intervienne très rapidement. Le plus souvent, à une température située sous zéro, la glace qui se forme sur le bâtiment une fois l'incendie circonscrit cause plus de dommages que les flammes.

Pouvoir évacuer les gens en cas d'incendie et sauver des vies humaines est une considération primordiale. Au stade de la conception des bâtiments, il faut donc prévoir les éléments suivants: 1) des escaliers de secours adéquats; 2) plusieurs sorties, clairement indiquées et faciles à utiliser, dans toutes les maisons et tous les bâtiments; 3) un détecteur de fumée, dans tous les bâtiments (un système qui soit mis en marche non seulement par les particules de fumée mais aussi par les produits de la combustion); 4) des systèmes d'alarme collectifs.

Certaines théories recommandent que l'on construise des maisons unifamiliales très espacées, pour empêcher les flammes de se propager en cas d'incendie. Cela n'est guère faisable dans les localités isolées du Nord, où les coûts des services sont très élevés. Mieux vaut prévoir des systèmes de prévention et de lutte contre les incendies lorsqu'on conçoit les habitations (murs coupe-feu entre les habitations ou réseaux d'extincteurs automatiques à eau). Il faut également prévoir des coupe-feu dans les utilidors pour que le feu et la fumée ne se répandent pas de bâtiment en bâtiment.

Dans les petits bâtiments ou les maisons détachées, il est extrêmement important de maîtriser l'incendie aussi rapidement que possible pour limiter les dégâts. Mais ceci est souvent impossible pour l'une des raisons suivantes:

- 1) Les véhicules d'incendie ne peuvent circuler que sur des routes fréquemment enneigées ou obstruées par les congères;
- 2) Les petites localités ne disposent pas de sapeurs-pompiers à temps complet, pour des raisons financières, et il s'écoule beaucoup de temps avant que les volontaires atteignent le poste d'incendie, puis le lieu du sinistre;
- 3) Très souvent, le bâtiment est complètement détruit par les flammes (six maisons en deux ans à Bethel), même si une bouche d'incendie en état de fonctionner se trouvait à proximité, parce que les bénévoles manquent d'organisation — on ne trouve pas de clé anglaise pour ouvrir la bouche d'incendie, ou les clefs du poste d'incendie, les camions ne démarrent pas. . .
- 4) Même dans les localités plus grandes, où il existe un programme d'entretien, bon nombre de bornes d'incendie ne fonctionnent pas pendant l'hiver.

Les incendies domestiques se déclenchent le plus souvent à proximité de la cuisinière ou du poêle, et dans une moindre mesure dans les chambres à coucher. C'est pourquoi la majorité des sinistres pourraient probablement être maîtrisés rapidement grâce à:

- 1) Des détecteurs de fumée;
- 2) Un robinet sur la canalisation d'eau de la maison, auquel sont rattachés une dizaine de pieds de boyau d'arrosage (rangé à la cuisine ou à côté de la chaudière);
- 3) Deux ou trois extincteurs manuels placés pour qu'on puisse facilement les saisir (il est très important que les extincteurs soient correctement entretenus — les systèmes à cartouche et à poudre sèche sont les plus fiables);
- 4) Un système de gicleurs reliés à l'alimentation en eau de la maison et situés à proximité de la cuisinière et de la chaudière.

Ces installations, probablement insuffisantes pour lutter contre un incendie avancé, peuvent suffire à éteindre un feu qui vient tout juste de se déclarer.

Pour les bâtiments plus grands, un réseau d'extincteurs automatiques à eau est indispensable. Le plus souvent, un réservoir d'eau d'une capacité suffisante doit être prévu à l'intérieur même du bâtiment. Ainsi, la piscine dont sont dotées certaines écoles en Alaska sert non seulement de plan d'eau où les enfants apprennent à nager, mais aussi de réservoir de stockage pour les systèmes de gicleurs qui protègent l'école et les résidences scolaires. Certains bâtiments ont été conçus avec des systèmes d'extincteurs à poudre sèche ou gaz halon incorporés. Ces systèmes, très onéreux, ne sont utilisés que pour protéger des zones dangereuses et des salles d'équipement électrique ou mécanique, où il est impossible d'utiliser de l'eau.

Pour lutter contre les incendies, on peut également utiliser l'eau ou la mousse ignifuge transportée par camions-citernes, ou l'eau de mer, si la localité se trouve dans une région maritime. Pour une petite collectivité,

les camions-citernes doivent avoir une capacité minimale de 4 000 l et être équipés d'une pompe de 35 à 40 l/s. On ne peut employer la mousse ignifuge que si la température est supérieure à -20 °C, à moins de préchauffer l'air allant à l'aspirateur, car à une température inférieure, on obtient un liquide et non de la mousse. Tous les systèmes qui font usage du transport par véhicule présentent des limites dont nous avons déjà parlé. Dans les régions côtières, certains villages ont un système de distribution d'eau séparé pour le service d'incendie, construit le long d'une pente pour faciliter la vidange des canalisations. Des unités de pompage de larges dimensions pompent l'eau de mer aux fins de la lutte contre les incendies. Malheureusement, ce type de système est très coûteux à l'achat et il pose des problèmes d'entretien. À Unalakleet, en Alaska, les habitants ont trouvé une solution intéressante: ils utilisent la "souffleuse" qui sert à enlever la neige sur le champ d'aviation. Pendant l'hiver, la plupart des maisons et bâtiments sont entourés de hauts congères. Lorsqu'un bâtiment prend feu, la "souffleuse" projette la neige du congère avoisinant sur la maison en flammes. La localité a ainsi sauvé de la destruction totale un certain nombre de maisons.

Un système d'alarme devrait être conçu à l'échelle de la localité toute entière. Deux dispositifs pourraient être intégrés à ce système, l'un signalant une basse température, l'autre, que l'eau cesse de circuler dans le réseau et que les conditions sont dangereuses.

Pour conclure, rappelons que l'incendie est un problème majeur dans les régions septentrionales et que les solutions ne peuvent être calquées sur les normes en vigueur dans les régions tempérées.

QUATRIÈME SÉANCE  
GROUPE DE DISCUSSION  
SUR LA PRÉVENTION DES INCENDIES DANS LE NORD

LA PRÉVENTION DES INCENDIES  
DANS LES LOCALITÉS ISOLÉES DU NORD

R.G. Whatmough  
Commissaire régional; Service des incendies  
Bureau du commissaire fédéral des incendies

Les principes fondamentaux de lutte contre les incendies sont les mêmes dans le Nord et dans les régions tempérées, mais certaines conditions propres aux régions froides et isolées font que les collectivités dans le Nord doivent faire preuve de plus d'imagination, d'habileté et de ressources pour circonscrire les sinistres.

Les facteurs suivants, entre autres, sont en cause: 1) longueur de la saison où il faut chauffer les bâtiments jour et nuit; 2) emploi généralisé de matériaux de construction inflammables – en particulier quand sont construites les premières habitations d'un nouveau village; 3) difficulté d'entretenir les routes et de maintenir les moyens de communication à cause du vent et de la neige; 4) manque d'ouvriers qualifiés pour l'entretien des services et de l'équipement (dans les petits villages, on agit volontiers en "état d'urgence" plutôt que de suivre un programme d'entretien à long terme); 5) réserves d'eau insuffisantes pour la lutte contre les incendies, dans la majorité des localités.

La conception et la construction de services publics pour une localité mettent directement en jeu les exigences du *Code national du bâtiment* et du *Code national de prévention des incendies*. Les préfaces des deux codes fournissent les précisions énumérées ci-dessous.

Le *Code national du bâtiment* (CNB) établit les normes de sécurité incendie dans les cas suivants: quand un nouveau bâtiment est construit, quand un ancien bâtiment est reconstruit (y compris les prolongements ou modifications), quand un bâtiment change d'occupants ou quand il est refait.

Le *Code national de prévention des incendies* (CNPI) établit les normes de sécurité incendie, les techniques de lutte et des normes sur la sécurité des personnes dans les bâtiments: normes sur les activités pouvant comporter des risques d'incendie, entretien de l'équipement de sécurité incendie et des issues de secours, normes sur les extincteurs portatifs, règlements sur le contenu d'un bâtiment, établissement d'un programme de sécurité incendie comprenant l'organisation d'une équipe de direction pour les cas d'urgence. De plus, le CNPI établit des normes pour prévenir, maîtriser ou lutter contre les incendies qui se déclarent à l'extérieur des bâtiments et peuvent présenter un danger pour la localité; il établit par ailleurs les normes de transport des liquides inflammables et combustibles.

La plupart des mesures de protection contre les incendies pour la construction des bâtiments sont indiquées dans la troisième partie du *Code national du bâtiment*, "Usage des bâtiments": "Types de construction", "Degré de résistance au feu", "Séparations coupe-feu". . .

Selon les termes de cette dernière section, il est possible d'augmenter la surface d'un bâtiment pourvu de façades donnant sur deux ou trois rues. Je crois que cela ne devrait pas être permis dans les localités septentrionales qui n'ont pas de réseau d'adduction.

Les prescriptions du *Code national du bâtiment* prennent pour acquis qu'il existe un système adéquat d'approvisionnement en eau et un corps de sapeurs-pompiers à plein temps. Or, la plupart des localités septentrionales isolées ne sont pas desservies par des réseaux de canalisations et n'ont qu'une équipe de pompiers bénévoles. À moins de circonscrire et de maîtriser l'incendie très rapidement, il sera très difficile de limiter les pertes car les cinq premières minutes sont les plus critiques. Un système d'alerte doublé d'un corps de sapeurs-pompiers disposant de ressources en équipement et en eau adéquates, est essentiel. Notons enfin qu'un programme d'inspection est indispensable à tout plan complet de lutte contre les incendies.

Vous trouverez à l'annexe G, "Normes de sécurité incendie", du *Manuel d'aménagement des réseaux de services publics en climat froid*, une "Norme pour les réseaux d'alimentation en eau" (CFI n° 405, projet n° 3), préparée par le Bureau du commissaire fédéral des incendies. De telles normes s'appliquent aux propriétés du gouvernement canadien, et elles n'ont aucune portée juridique sur les réglementations provinciales et municipales.

Le calcul du débit d'eau d'incendie requis tient compte des facteurs suivants: a) dimensions du bâtiment; b) type de construction; c) nature de l'usage; d) installations de lutte contre les incendies et forces disponibles; e) endroit où se trouve le bâtiment par rapport à ces installations; f) autres bâtiments menacés.

Il arrive que les exigences concernant l'alimentation en eau d'un réseau d'extincteurs automatiques à eau dépassent les ressources d'une localité. Le débit d'eau d'incendie exigé est généralement fonction de la population. On tolère que la pression dans les canalisations soit plus basse que ce qui est exigée, car on sait pouvoir compter sur les services d'un véhicule d'incendie pour compléter les ressources en eau. La pression résiduelle dans les canalisations principales ne devrait pas descendre en-dessous de 140 kilopascals (kPa). Ce qui est insuffisant pour les réseaux d'extincteurs automatiques à eau, qui demandent une capacité et une pression considérablement plus élevées.

De tels systèmes ont été installés dans des bâtiments fédéraux du Nord qui ne bénéficiaient pas des réseaux adéquats d'alimentation en eau. L'alimentation se fait grâce à deux réservoirs sous pression, chacun d'une capacité totale de 17 000 litres, dont les deux tiers sont remplis d'eau et un tiers d'air sous pression à 655-690 kPa.

L'eau reste, de nos jours, le moyen le plus sûr et le plus efficace pour éteindre un incendie. J'ai lu récemment qu'à des températures inférieures à 0 °C, l'eau qui se transforme en glace cause plus de dommages que le feu lui-même. Je conteste cette affirmation. Un incendie fait toujours des dégâts et ce sont de meilleurs programmes d'inspection, de prévention et de lutte contre l'incendie qui peuvent y remédier.

## CINQUIÈME SÉANCE EXPLOITATION ET ENTRETIEN

### EXPLOITATION ET ENTRETIEN DES INSTALLATIONS SANITAIRES DANS LES VILLAGES AUTOCHTONES DE L'ALASKA

Daniel R. Rogness  
Alaska Area Native Health Service  
Anchorage (Alaska)

Pour qu'un réseau d'eau et d'égout remplisse parfaitement ses fonctions, il faut non seulement qu'il soit bien conçu et bien construit, mais aussi qu'il soit doublé d'un programme d'exploitation et d'entretien (E & E) efficace. Dans le Nord, les problèmes environnementaux, le manque de personnel qualifié et les distances entre les localités et les centres d'approvisionnement font que le programme d'E & E est d'une importance primordiale.

Les réseaux doivent être conçus de manière à éviter les pannes extrêmement critiques qui peuvent résulter des conditions du milieu (pergélisol et froid extrême par exemple). Quand une pompe cesse de fonctionner dans une région tempérée, il n'en résulte qu'un fâcheux arrêt de service en attendant que la pompe soit remplacée. Dans l'Arctique, quand une pompe de circulation tombe en panne, le réseau tout entier peut geler et cesser de fonctionner pour une période prolongée – sans compter qu'il faudra ensuite un investissement de temps et d'argent énorme pour la remettre en marche. Il est évident qu'un programme d'E & E peut réduire ces risques, puisqu'il permet de vérifier que les divers éléments du système sont en bon état et qu'on dispose des pièces de rechange nécessaires en cas de mauvais fonctionnement.

Le manque de personnel compétent pour exploiter les petits réseaux d'eau et d'égout dans le Nord a plusieurs causes: faible densité de population (donc peu de main-d'oeuvre), niveau d'éducation généralement bas, manque de fonds pour attirer des opérateurs qualifiés. Ces facteurs, qui ne sont peut-être pas critiques pour les centres industriels, posent de réels problèmes dans les petites villes et les villages. Vient s'ajouter à cela le fait que la population est souvent mobile. Les installations sanitaires doivent donc être aussi fiables que possible et les programmes d'E & E doivent être pensés en fonction du niveau d'éducation et d'expérience des futurs opérateurs.

De toute évidence, un programme d'E & E efficace permet d'éviter de nombreuses réparations. Cette considération est d'une importance toute particulière dans le Nord, où les coûts de réparation sont très élevés en raison de l'isolement des centres de population. Les distances étant grandes, il n'est pas possible de se procurer rapidement l'équipement nécessaire: un bon programme d'E & E doit donc prévoir suffisamment de pièces de rechange pour les réparations.

#### **SERVICE DE SANTÉ POUR LES AUTOCHTONES DE L'ALASKA**

Le Service de santé pour les autochtones de l'Alaska (AANHS – Alaska Area Native Health Service), est responsable de la planification, de la conception et de la construction des installations sanitaires dans les villages autochtones de l'Alaska. En règle générale, on explique aux opérateurs locaux et aux habitants comment contribuer au bon fonctionnement du réseau d'eau et d'égout de leur localité. De plus, une fois le système installé, on offre en permanence une aide technique aux villages.

Ce programme a été établi par suite de la Loi de 1959 sur l'aménagement d'installations sanitaires pour les Indiens. La loi stipule qu'une fois achevées les installations sont la propriété du village autochtone, chargé de l'exploitation et de l'entretien. Conformément à cette loi, l'AANHS se limite à "prendre les dispositions et mesures ( . . . ) "jugées nécessaires pour que soient" ( . . . ) assurés à l'avenir l'exploitation et l'entretien des installations". Le Congrès des États-Unis s'est bien gardé d'impliquer directement le gouvernement dans l'exploitation et l'entretien des installations sanitaires et il n'a pas engagé de fonds dans cette entreprise.

Dans le cadre de ces dispositions, l'AANHS a tenté de mettre au point un programme de soutien maximal pour aider les villages autochtones de l'Alaska à exploiter et à entretenir leurs installations, sans pour autant fournir de subventions directes. Cet exposé vise à montrer l'approche globale suivie pour résoudre les problèmes d'eau et d'égout dans les villages autochtones de l'Alaska, et pour augmenter la fiabilité des systèmes.

## PARTICIPATION DE LA COLLECTIVITÉ

La première étape du programme d'aménagement d'installations sanitaires vise à inciter les habitants à participer aux prises de décision concernant les services publics. On veut faire connaître à tous les résidents les buts et méthodes de ce programme, et leur expliquer quelles seront leurs responsabilités une fois la construction achevée. Afin de stimuler l'intérêt des habitants, on a adopté l'approche suivante.

Une fois le financement d'un projet assuré, mais avant d'aborder la conception du système, on envoie au village une équipe compétente de deux ou trois personnes chargées de deux missions: recueillir les données topographiques nécessaires aux études de génie préliminaires, puis consulter les villageois sur le projet et s'assurer qu'ils comprennent leurs futures responsabilités, financières ou autres. Les premiers contacts avec le village se font par la poste. On annonce par lettre aux résidents la venue de l'équipe. À son arrivée, celle-ci se met en rapport avec le Conseil du village pour exposer succinctement le programme, préciser le but de la visite et demander au Conseil de préparer une réunion générale du village pour le lendemain. Accompagnée des représentants désignés par le Conseil, l'équipe se rend alors dans chaque maison, expliquant dans ses grandes lignes le programme et les différents types d'installations sanitaires. Elle profite également de l'occasion pour mentionner la réunion générale à venir, et on indique pourquoi il est important d'y assister. Lors de la réunion générale, l'équipe décrit le programme, les différentes options en matière d'installations sanitaires et les exigences d'E & E. Elle insiste particulièrement sur celles-ci et souligne que les installations appartiendront au village, qui sera donc responsable une fois la construction achevée. On fait comprendre aux villageois que c'est à eux de choisir le type d'installation, en leur rappelant toutefois les exigences d'E & E. À cette étape, on ne cherche pas à forcer la décision des villageois. Après quelques jours, quand la visite prend fin, l'équipe se réunit à nouveau avec le Conseil du village pour rappeler les décisions qui doivent se prendre et les responsabilités d'E & E qui devront être assumées. L'équipe explique alors au Conseil les efforts que demandera la collecte des données avant que puissent commencer les travaux de génie.

Peu après la visite, on envoie au village une lettre récapitulant les éléments essentiels et exposant, une fois de plus, les diverses options possibles et les exigences d'E & E. Si le village le demande, l'équipe revient à nouveau pour éclaircir tout problème ou malentendu. Dans ce cas, elle insiste sur les responsabilités d'E & E. Une fois que les villageois ont pris une décision sur le type d'installations à construire, on explique une dernière fois l'exploitation et l'entretien que nécessitera le système choisi.

Tout au long de ces démarches, on parle E & E — chaque fois qu'on discute des avantages tant sanitaires qu'utilitaires du système d'eau et d'égout, pour que les habitants du village fassent le lien entre l'aspect pratique et les charges du système. Nous utilisons cette approche depuis un peu plus de deux ans, mais il n'est pas encore possible d'en déterminer avec précision la valeur, car des résultats de plusieurs années d'expérience seront nécessaires pour cela. Cependant, on peut déjà faire une constatation positive: la plupart des villages ont choisi des installations centralisées, plus simples et moins coûteuses, d'une exploitation et d'un entretien plus faciles. Auparavant, beaucoup de collectivités avaient tendance à demander des installations complexes pour obtenir un niveau de service très élevé, sans se préoccuper des responsabilités d'E & E connexes.

## FORMATION DES OPÉRATEURS

On a mis au point un programme spécial pour former les opérateurs des réseaux d'eau et d'égouts dans les villages autochtones, afin de concilier la complexité que présentent le plus souvent ces systèmes et le faible niveau d'éducation de ces collectivités. Avant d'entreprendre la construction, on demande aux habitants du village de nommer au moins deux résidents qui seront chargés de faire fonctionner le système. Pour la construction, on emploie la main-d'oeuvre locale à chaque fois que la chose est possible — les employés du gouvernement assurant les postes de supervision et se chargeant des travaux complexes. Cette méthode permet aux futurs opérateurs de participer à la construction et d'apprendre, sous la direction du contremaître, quelles sont les diverses composantes du système et leur fonction. Cette formation leur sera très utile par la suite lorsqu'ils devront effectuer des réparations ou des réglages.

À la deuxième étape de formation, plus conventionnelle, les futurs opérateurs suivent un cours conçu en fonction de leur niveau d'instruction et d'expérience, et spécialement adapté au type d'installations sanitaires choisies par la collectivité. Les cours réunissent les villages de l'Alaska qui ont adopté le même type de système, et les futurs opérateurs qui y assistent se connaissent en général. Les programmes de formation actuels sont

d'un niveau très élémentaire car ils s'adressent à des personnes qui n'ont guère l'expérience de l'exploitation des installations sanitaires. Des cours plus avancés seront offerts aux opérateurs à mesure qu'ils acquerront de l'expérience et des connaissances, ce qui permettra éventuellement à certains d'être officiellement agréés comme opérateurs. Les paragraphes suivants décrivent les grandes lignes d'un cours de formation typique (on se souviendra que chaque thème est pensé en fonction du niveau d'instruction et d'expérience des participants). Ce cours dure normalement 5 jours. On croit, d'après les commentaires qu'on a obtenus récemment, qu'il serait bon de le réduire à trois jours, du moins pour le niveau élémentaire.

La première journée comprend une introduction – électricité, circuits d'alimentation, principes fondamentaux des moteurs, relais et commandes – ainsi que des exercices pratiques sur les moteurs et les relais électriques. Cette première journée se termine par une brève interrogation sur le thème de l'électricité.

Le lendemain matin, on étudie les principes essentiels de l'hydraulique, les différents types de pompes et leurs composantes, et on fait des exercices pratiques sur le démontage et le remontage des pompes. L'après-midi comprend une étude de la robinetterie et des compteurs ainsi que des exercices pratiques sur le démontage et le remontage d'un compteur à eau. On étudie également les procédés de traitement de l'eau autres que la chloration ou la fluoration. La journée se termine par une visite de la station de pompage locale, suivie d'une interrogation portant sur les pompes.

Le troisième jour commence par un court exposé en bactériologie, suivi d'une brève interrogation. On discute ensuite de la chloration, en théorie et en pratique, et on fait des travaux pratiques de chloration. Après le déjeuner, il est question de fluoration (généralement avec le concours d'un dentiste de l'AANHS) et la séance se termine par des essais routiniers sur le fluorure effectués par chaque participant. Vient ensuite une petite interrogation sur la chloration et la fluoration. On passe alors aux principes fondamentaux du traitement des eaux usées, traitement primaire et secondaire, et on termine par une revue des difficultés qu'on peut rencontrer avec les collecteurs. Dans la soirée, on visite la station locale de traitement des eaux usées et on inspecte le système de collecte; après quoi, les étudiants sont rapidement interrogés sur le sujet.

Le quatrième jour, on commence par une discussion sur la collecte et la gestion des déchets solides. Le reste de la journée est consacré au thème de l'entretien: véhicules, équipement lourd, système de chaudière (y compris le brûleur et le câblage). En soirée, on pratique le démontage et le remontage d'un brûleur et on fait des tests sur la fumée, la température et le CO<sub>2</sub>, avec réglages connexes pour assurer un fonctionnement efficace du brûleur.

Le matin du cinquième jour, on parle des lois sur la certification des opérateurs ainsi que des lois sur le contrôle de la pollution des eaux et sur l'approvisionnement en eau potable. Au cours de la dernière séance, on traite de la gestion des services: budgets, recouvrements, commandes de matériaux et de pièces de rechange, relations publiques et comment faire des relevés. En conclusion, les participants passent un bref examen sur la matière étudiée pendant ces quatre jours et demi.

Le contenu du cours varie en fonction des besoins de la collectivité. Ainsi, le fonctionnement et l'entretien des chaudières occupent une place prépondérante dans le cours de formation offert aux régions du Nord de l'Alaska; pour les régions du Sud, on passe plus de temps sur le traitement des eaux usées. Toutes les interrogations que doivent subir les participants sont par la suite soigneusement analysées pour déterminer quels changements apporter aux prochains cours. On utilise près de 700 livres d'équipement (pompes, moteurs, brûleurs à mazout, matériel d'essais sur le chlore et le fluorure, appareils électriques, etc.), à des fins de présentation visuelle et pour donner aux participants la connaissance pratique qui est si essentielle.

Bien qu'elle ne relève pas nécessairement des fonctions de l'opérateur, la gestion des services publics devrait faire l'objet d'un programme de formation. Des cours sur la comptabilité, la paye, la commande de matériel et les encaissements seraient très utiles pour la plupart des villages. L'AANHS, qui a offert récemment un cours à l'intention des teneurs de livres employés par les services publics, entrevoit une possibilité de développement dans ce domaine. On pourrait ainsi aider les villages à gérer non seulement leurs services publics mais aussi toute autre entreprise commerciale. On a pris contact avec d'autres organismes et groupes impliqués dans le développement des villages pour étudier la possibilité de projets communs dans ce domaine.

### **SPÉCIALISTES DE L'ENTRETIEN**

Un aspect plus poussé et moins courant de la formation des opérateurs relève des "spécialistes de l'entretien". Officiellement désignés comme opérateurs-réparateurs des réseaux de services publics dans la classification

fédérale des emplois, ces spécialistes ont souvent des années d'expérience dans la construction des systèmes, pour avoir été contremaîtres sur les chantiers des zones rurales de l'Alaska. Au moins deux fois par an, ces spécialistes visitent chaque système achevé. Ils en profitent pour donner aux opérateurs un cours pratique sur les réseaux d'eau et d'égouts. La visite consiste en une inspection détaillée de toutes les composantes, à laquelle participe l'opérateur. L'expert et l'opérateur discutent ensemble des pièces à réparer ou à changer. Si l'opérateur hésite à faire seul la réparation parce qu'il ne se sent pas tout à fait compétent, le premier lui vient en aide. L'opérateur profite également de cette occasion pour poser des questions dans les domaines où il a encore besoin de conseils; dans la mesure du possible, il reçoit une réponse sur le champ. Prenons un exemple pour illustrer le succès de ces échanges. Les spécialistes de l'entretien transportent toujours avec eux l'équipement d'essai nécessaire pour effectuer le réglage des brûleurs à mazout. Beaucoup d'opérateurs locaux, ayant compris à quel point cette opération est importante pour prolonger la vie utile des brûleurs et diminuer les frais d'exploitation, demandent maintenant qu'on leur fournisse cet équipement pour régler eux-mêmes les brûleurs dans le cadre du programme normal d'E & E.

L'expertise et l'expérience du personnel qualifié sont également précieuses à d'autres stades du programme d'aménagement des installations sanitaires. On fait régulièrement appel à leurs services pour obtenir des commentaires sur l'aspect E & E des systèmes, lors de séances d'étude organisées à mesure que progresse la conception des projets d'eau et d'égout.

Les spécialistes de l'entretien participent également à l'inspection des installations au cours de la construction, toujours dans l'optique E & E. C'est en partie grâce à eux s'il est maintenant courant que les relevés de chaque inspection en fin de construction comprennent des recommandations, à l'intention du service de la conception et du service de la construction, quant aux améliorations ou aux changements à apporter pour les futurs projets. Enfin, ces experts sont souvent employés comme instructeurs pour les cours théoriques de formation. L'expérience qu'ils ont des systèmes exploités dans l'Alaska est inestimable. De plus, les spécialistes de l'entretien sont hautement respectés en tant qu'instructeurs car le plus souvent ils ont travaillé dans les villages avec les opérateurs inscrits au cours de formation.

Les rapports courants qu'effectuent les spécialistes suite à leurs inspections sont devenus une source de données précieuse tant pour la conception que pour la construction. La liste suivante rappelle quelles composantes ont exigé une réparation lors des inspections faites en 1978. Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de défaillances pour chaque élément – il y eut un total de 172 défaillances et de 80 inspections.

- 1) Chaudière (5)
- 2) Pompe et moteur (14)
- 3) Équipement électrique (28)
- 4) Équipement de fluoration (14)
- 5) Station de relèvement (14)
- 6) Réservoirs pneumatiques (8)
- 7) Station de traitement des eaux usées (10)
- 8) Collecteurs d'égout et conduites de branchement (2)
- 9) Conduites maîtresses (2)
- 10) Conduites de branchement (11)
- 11) Conduites d'alimentation (3)
- 12) Autres (16)

L'intervention requise pour certaines de ces composantes (la chaudière en particulier), est un simple réglage. Cependant, beaucoup de défaillances sont dues aux pratiques de conception et de construction. On peut donc grandement réduire les problèmes en communiquant ces renseignements aux responsables de la conception et de la construction, et en demandant le concours des spécialistes de l'entretien à ces deux stades. Les résultats des inspections peuvent également permettre de voir sur quels sujets il faudrait insister davantage dans les futurs programmes de formation, en particulier quand l'inattention ou le manque de connaissances de l'opérateur a été la cause d'une défaillance du système.

#### **MANUELS D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN**

La rédaction de manuels d'exploitation et d'entretien pour les réseaux d'eau et d'égout est la composante finale de ce programme d'E & E. Là encore, le niveau d'instruction et le manque d'expérience des opérateurs

exigent des ouvrages spéciaux, différents des manuels classiques. On s'est efforcé de standardiser, autant que possible, ces manuels, qui sont préparés individuellement en fonction du système aménagé et de ses exploitants. Les rédacteurs techniques inspectent chaque installation avant d'entreprendre la préparation des manuels. Ils prennent de nombreuses photos des diverses composantes, pour illustrer les méthodes d'exploitation et d'entretien dans les manuels (photos et diagrammes). Le manuel type comprend l'information de base suivante.

Le premier chapitre explique comment utiliser le manuel, énonce les responsabilités de la ville en ce qui concerne l'exploitation et l'entretien du système, donne une description générale du système et de ses possibilités ainsi qu'un tableau des coûts d'E & E, et se termine par une section sur la sécurité.

Le deuxième chapitre comprend une description des systèmes d'approvisionnement en eau, d'évacuation des eaux-vannes et d'élimination des déchets solides.

Le troisième chapitre présente en détail les méthodes d'exploitation: mise en marche du réseau d'adduction, chloration, fluoration, allumage de la chaudière, etc.

Le chapitre quatre traite des défaillances et des pannes; il pourrait porter en sous-titre: "Quoi faire quand l'alarme est donnée". Il explique en détail comment procéder en cas de difficulté.

Le chapitre cinq traite de la lubrification et de l'entretien, il inclut des listes de vérification pour la lubrification, les outils à avoir en stock, et répertorie les sources d'approvisionnement les plus courantes. De plus, grâce à de nombreux schémas et images, il renseigne le lecteur sur l'entretien des pompes centrifuges et des compteurs à eau, et sur le réglage des brûleurs à mazout.

Le chapitre six porte sur les réparations et comprend plusieurs tableaux indiquant les éléments à vérifier en cas de panne. On y traite également des brûleurs à mazout et des pompes ainsi que de l'alimentation en produits chimiques pour la chloration et la fluoration. Ce chapitre indique également comment dégeler une canalisation d'eau et comment réparer une fuite au niveau des canalisations principales.

Le chapitre six est suivi d'un **glossaire**, où des termes peut-être inconnus de l'opérateur sont expliqués au moyen d'une définition simple. À la fin du manuel se trouve une annexe; la partie principale est constituée d'une liste de l'équipement, donnant la marque et le numéro de modèle de tous les éléments du système. L'annexe comprend également un tableau sur la robinetterie décrivant le système de numérotation des valves dans la station de pompage, et comportant des relevés de l'exploitation des puits et des résultats d'analyse de l'eau, ainsi qu'une série de formulaires dont l'opérateur peut se servir pour tenir un journal sur l'exploitation quotidienne du système. Les brochures et manuels des fabricants, décrivant chaque élément du système, sont reliés à part et fournis séparément à l'opérateur.

## CONCLUSION

Comme nous l'avons mentionné, il faudra attendre plusieurs années avant de pouvoir évaluer complètement ce programme. La réponse des villageois, durant les trois premières années, a été excellente. Tous les opérateurs locaux ont apprécié l'aide que leur ont fournie les spécialistes de l'entretien et ils ont trouvé le cours de formation très utile. Il est évidemment précieux de connaître les réactions, tant pour la conception que pour la réalisation des projets à venir.

Une façon de mesurer les résultats du programme est de déterminer avec quel succès les opérateurs locaux réussissent à prévenir les problèmes majeurs, grâce à l'entretien quotidien du système ou par une réaction juste et rapide en cas de problème mineur.

CINQUIÈME SÉANCE  
EXPLOITATION ET ENTRETIEN

AIDE À L'EXPLOITATION, À L'ENTRETIEN ET À LA GESTION  
DES INSTALLATIONS SANITAIRES RURALES

J.W. Sargent  
Alaska Department of Environmental Conservation  
Juneau, Alaska

En Alaska, on entend par installations sanitaires rurales l'ensemble des services assurés pour l'adduction d'eau, l'évacuation des eaux usées, les bains et buanderies, dans plus de 200 villages disséminés à travers l'État. Les résidents de ces villages sont, pour la plupart, des autochtones de l'Alaska, Indiens ou Inuit, avec des populations qui dépassent rarement 600 personnes.

À mesure que la société américaine moderne s'est développée en Alaska, il y a eu au sein de la population rurale de l'État une augmentation marquée de la demande en ce qui concerne les "commodités modernes". Répondre à cette demande dans le milieu assez rigoureux des territoires arctiques et subarctiques est une tâche difficile et coûteuse dans le meilleur des cas.

Par le truchement du U.S. Public Health Service (USPHS), le gouvernement fédéral a, depuis le début des années 1960, parrainé un programme dont le but déclaré était de relever l'état de santé des autochtones au plus haut niveau possible. Ce programme comprend à la fois des services médicaux directs et des services d'hygiène publique. Dans le cadre des services d'hygiène publique, on a consacré des millions de dollars à la construction d'installations d'adduction d'eau, d'évacuation des eaux usées et de bains et buanderies.

Vers la fin des années 1960, une délégation du Congrès des États-Unis a effectué une tournée de l'Alaska rural et en a tiré la conclusion que des efforts supplémentaires étaient nécessaires pour répondre au besoin pressant de services sanitaires. On a opté pour une stratégie selon laquelle le gouvernement fédéral devait mettre au point, au moyen de projets pilotes dans certains villages choisis, des méthodes nouvelles pour assurer les services sanitaires indispensables. À partir de là, l'État de l'Alaska devait adopter un programme à long terme visant à mettre sur pied, partout en Alaska, des services sanitaires du type de ceux qui sont développés par le gouvernement fédéral.

Deux projets pilotes fédéraux ont été réalisés (voir la description de Reid, 1977). Ensuite, au début des années 1970, le programme d'État Village Safe Water (VSW) a été mis sur pied par l'Alaska Department of Environmental Conservation (ADEC) (Sargent et Scribner, 1977).

Les travaux de construction effectués d'abord par l'USPHS, puis plus récemment dans le cadre du programme VSW, ont révélé l'existence de problèmes d'exploitation et d'entretien des installations sanitaires villageoises. Des incidents dus au gel, des pannes mécaniques et autres perturbations des services ont mis en relief le besoin de mesures d'E & E efficaces une fois la construction terminée.

Après avoir étudié un large éventail d'expériences entreprises par des organismes fédéraux et ceux de l'État, visant entre autres à répondre aux besoins sanitaires ruraux, le personnel du programme VSW a dû admettre que, en règle générale, les installations sanitaires construites dans les villages subissent des défaillances prématurées à cause du manque de soutien financier, technique et gestionnaire de la part d'organismes extérieurs. Il va de soi que les besoins d'exploitation et d'entretien varient en fonction de facteurs tels que la complexité des installations, la qualité de la conception et de la construction et la volonté et les capacités d'un village en matière d'E & E. Néanmoins, la quasi-totalité des villages auront besoin tôt ou tard, et assez tôt en général, d'une certaine aide financière, technique ou gestionnaire.

L'État de l'Alaska n'est pas encore arrivé à une conclusion quant à la meilleure façon de remédier à ces problèmes d'E & E dans les villages. Cette question, entre autres, fait l'objet d'un processus de planification globale entrepris par l'ADEC avec la participation de l'USPHS et d'autres organismes engagés dans l'aménagement des services sanitaires en Alaska. Jusqu'à ce qu'on dispose d'une méthode permettant de trouver des solutions aux problèmes d'E & E, le programme VSW apporte son soutien à la douzaine de villages ayant reçu des équipements VSW. Le présent document a pour objet de décrire le système de soutien à l'exploitation et à l'entretien élaboré dans le cadre du programme VSW.

## CATÉGORIES D'AIDE À L'EXPLOITATION ET À L'ENTRETIEN

La demande de services sanitaires surgit chez les villageois lorsqu'ils comparent leur situation dans ce domaine à celle des habitants des zones non rurales. En outre, divers organismes, et les villages eux-mêmes, favorisent des normes de santé améliorées par le développement des services sanitaires. Puisque l'objectif est de créer un service sanitaire moderne, il est souvent nécessaire d'employer des techniques modernes pour y parvenir.

Or, la plupart de ces techniques, qu'il s'agisse de puits à pompes immergées ou de réseaux d'évacuation sous vide, sont étrangères au monde des villageois. En général, le milieu culturel des villages n'a aucun lien avec les techniques modernes en matière d'équipement sanitaire. Il manque l'expérience de plusieurs générations pour comprendre les exigences de la gestion des services collectifs. La planification, les budgets, le recouvrement des frais, la direction du personnel, les commandes de pièces et le paiement des factures ne font pas partie des moeurs villageoises. Par conséquent, diverses combinaisons d'aide financière, technique et administrative peuvent s'avérer nécessaires pour maintenir les installations sanitaires d'un village en bon état de marche.

**Aide financière.** — L'économie de l'argent a bien pénétré l'Alaska rural. L'exploitation et l'entretien de tout système de services d'une certaine ampleur doit donc s'accompagner d'échanges d'argent. La plupart des pièces et équipements de remplacement ne peuvent être obtenus que chez les distributeurs commerciaux qui exigent le paiement en argent comptant. L'électricité et le combustible pour le chauffage doivent généralement être payés, quoiqu'il soit parfois possible de les obtenir en échange de services sanitaires. En outre, dans les villages, comme partout ailleurs, peu de gens sont disposés à travailler sans être rémunérés, même quand il s'agit de l'E & E des installations sanitaires du village.

Les besoins de fonds peuvent varier entre un montant très modique pour un simple point d'eau et des sommes annuelles de \$100 000 et plus pour des installations collectives complètes assurant l'adduction d'eau, l'évacuation des eaux usées et des services de bains et de buanderie.

Les sources d'argent dans le village comprennent les droits payés par les individus bénéficiant des services sanitaires, et ceux qui sont payés par les institutions et établissements commerciaux. Néanmoins, chaque village est limité en ce qui concerne le montant que l'on peut tirer des contributions des usagers. Il existe un point où tout supplément à la facturation entraînera une baisse de l'utilisation des services sanitaires, ce qui va à l'encontre du but premier de l'aménagement de ces services.

Si les fonds que l'on peut logiquement obtenir dans le village ne suffisent pas à couvrir les dépenses d'E & E, il faudra faire appel à une aide financière extérieure au village. Sans cela, l'exploitation et l'entretien ne seront pas pleinement assurés et les installations sanitaires ne pourront pas fournir le service prévu.

**Aide technique.** — Il est presque impossible d'offrir un service sanitaire quelconque sans installer un système mécanique, d'une façon ou d'une autre. Pour un simple point d'eau, par exemple, il faut au moins un puisard et une pompe manuelle; pour un réseau sous pression, il faut une tuyauterie, des réservoirs, des pompes, des robinets et des commandes. La plupart de ces systèmes mécaniques ont été mis au point par la société technologique américaine et ils en sont une partie intégrante. En effet, dans les agglomérations urbaines, un personnel nombreux (ingénieurs, techniciens et artisans), s'occupe uniquement du développement, de l'étude, de l'exploitation, de l'entretien et de la gestion des systèmes mécaniques.

Cette technologie est chose commune dans les zones urbanisées, mais son apparition est relativement récente dans les villages de l'Alaska. Il y a peu de villageois qui soient qualifiés et qui aient de l'expérience dans le domaine des systèmes mécaniques et des services sanitaires. L'enseignement est un moyen évident de diffuser les connaissances techniques dans les villages, et les programmes de formation pour les villageois sont très nombreux. Toutefois, on doit assigner une limite au rythme auquel on communique les connaissances et compétences diverses aux villageois. La stratégie type, qui consiste à organiser un bref stage de formation intensive pour un ou plusieurs individus dans un village, est largement insuffisante pour permettre de faire face aux problèmes techniques d'un système sanitaire. Pour instituer un niveau de compétence permettant de prendre en main les concepts et les applications de la technique, il faudrait un développement progressif sur de nombreuses années, voire même des générations; c'est alors seulement que les exigences techniques entreraient dans les moeurs individuelles et collectives.

Si les aptitudes, la formation et l'expérience collectives d'un village ne lui permettent pas de faire face à tous les problèmes techniques de son système sanitaire, il faut recourir à une aide extérieure. Sinon, il y aura des

défaillances. Le besoin de cette aide technique est largement reconnu, et l'USPHS et l'ADEC fournissent ces services en Alaska.

**Aide à la gestion.** — Les fonctions classiques de la gestion pour la quasi-totalité des entreprises comprennent la planification, l'organisation, la dotation de personnel, la direction et la surveillance. Jusqu'à un certain point, les fonctions classiques de la gestion doivent être appliquées à l'E & E du plus simple des services sanitaires villageois, si on veut que ces systèmes soient efficaces.

Tous les organismes gouvernementaux et entreprises commerciales affrontent des problèmes de planification, d'organisation, de choix du personnel, de direction et de surveillance, parfois sans pouvoir les résoudre. Il n'y a aucune raison de croire que les villages pourraient gérer leurs installations sanitaires sans rencontrer les mêmes difficultés. De plus, si la technologie est étrangère aux villages, il en va de même pour ce qui est de la nécessité et de l'application des techniques de gestion.

Encore une fois, il n'est pas possible de procéder intensivement en ce qui concerne l'enseignement de l'expertise gestionnaire: il s'agit de compétences qui ne peuvent que se développer progressivement au cours des années.

Comme les besoins en gestion sont moins matériels et précis que les besoins techniques et financiers, on a tendance, dans le cadre des programmes sanitaires ruraux, à accorder moins d'importance à l'aide à la gestion. En outre, les organismes chargés de l'administration des programmes sanitaires sont le plus souvent dotés d'experts techniques qui ne sont pas formés en gestion et sont peu disposés à traiter ces problèmes. Pourtant, les faiblesses au niveau de la planification, organisation, dotation en personnel, direction et surveillance, conduisent à des défaillances des systèmes sanitaires aussi sûrement qu'à des pannes d'équipement.

## LE PROGRAMME D'EXPLOITATION ET D'ENTRETIEN VILLAGE SAFE WATER

Dans le cadre du programme VSW, on a mis au point un programme d'E & E pour les villages de l'Alaska dotés d'installations d'eau potable. Ce programme reconnaît le besoin d'un soutien dans les trois secteurs financier, technique et gestionnaire. Le programme d'aide à l'exploitation et à l'entretien a pour traits saillants un système d'accord d'octrois entre l'ADEC et les villages, un personnel d'exploitation et d'entretien qui se rend sur place et un fonds central d'E & E pour tous les villages concernés par le programme VSW.

**Accord d'octrois.** — Les villages qui décident d'accepter l'offre d'aide à l'exploitation et à l'entretien de l'ADEC doivent conclure un accord d'octroi avec ce dernier. L'accord d'octroi précise le type d'aide disponible et établit les modalités d'application de l'aide. Voici quelle est la teneur d'un accord d'octroi réel:

Votre village est maintenant doté d'une installation sanitaire centrale, financée aux termes du "Village Safe Water (VSW) Act". Sauf disposition contraire, l'exploitation, l'entretien et la gestion de votre service VSW seront le fruit d'une coopération entre votre village et l'Alaska Department of Environmental Conservation (ADEC).

Au cas où les revenus provenant des usagers de votre installation VSW ne suffiraient pas à payer tous les frais d'exploitation, d'entretien et de gestion, l'ADEC dispose de certains fonds pour vous aider à payer ces frais, jusqu'au 30 juin 1979. Ces fonds sont prélevés sur (et limités à), une allocation pour l'exercice de 1979, et peuvent être mis à votre disposition sous forme d'octroi à l'exploitation et à l'entretien VSW en vertu de l'AS 46.07.050 (b). Si vous décidez d'accepter cet octroi, votre acceptation sera soumise aux conditions suivantes:

1) L'octroi à l'exploitation et à l'entretien sera divisé en deux parties. Une partie de l'argent ("octroi direct"), sera versée directement à votre village et servira à payer les frais d'exploitation et d'entretien de votre installation. L'autre portion de l'octroi ("octroi central"), sera versée par l'ADEC dans un compte central d'exploitation et d'entretien VSW où sont rassemblés les fonds d'octroi pour les villages équipés d'installations VSW. Le montant total de votre octroi, et la part faite entre l'octroi direct et l'octroi central, seront déterminés par l'ADEC en fonction de la disponibilité des fonds de l'État, les besoins relatifs de tous les villages dotés d'installations VSW et les frais réels d'exploitation de votre installation.

### L'octroi direct

Le montant doit servir uniquement à payer les frais d'exploitation et d'entretien de votre installation VSW. Les dépenses que le village peut faire sans consulter l'ADEC sont les suivantes: a) les salaires normaux établis au préalable avec l'accord de l'ADEC, b) les impôts, c) les factures d'électricité, d) les achats de moins de \$50 en fournitures routinières de conciergerie, d'exploitation et de bureau (par ex., savon, balais, petit outillage, papier de toilette).

Toutes dépenses autres que celles énumérées ci-dessus doivent recevoir l'accord préalable de l'ADEC (par ex., voyages, équipement important, augmentations de salaire, changements de personnel et fournitures en grandes quantités).

#### L'octroi central

L'ADEC déposera les fonds des octrois centraux de tous les villages ayant des installations VSW sur un compte appelé "Compte central d'E & E/VSW". Ce compte est tenu conjointement par tous les villages qui y déposent des fonds d'octrois VSW. Votre village autorise l'ADEC à recevoir des copies de tous les relevés, rapports et autres communications relatives au compte. Vous accordez également à l'ADEC le pouvoir de nommer les signataires autorisés pour le compte. Tous les paiements effectués à partir du compte central d'E & E/VSW doivent recevoir l'approbation préalable de l'ADEC, sauf dans le cas d'une dérogation accordée par l'ADEC.

2) Gestion financière de l'octroi direct. Votre village ouvrira un compte bancaire distinct, à utiliser uniquement pour les transactions d'E & E de votre installation VSW. L'ADEC déposera tous les fonds de l'octroi direct dans ce compte. Le village s'engage à verser dans le même compte toutes les recettes provenant de la facturation des services de l'installation VSW.

La documentation sur toutes les transactions financières effectuées sur le compte de votre village doit être conservée au village selon un système établi d'un commun accord par l'ADEC et votre village. Les exigences minimales de tenue des documents comprendront: a) une pièce justificative (par ex., facture, note de transport, fiche de paie), pour tous les chèques émis; cette pièce justificative doit porter le numéro du chèque et être classée de façon permanente par numéro de chèque; b) une indication de l'origine de chaque montant déposé; e) une indication de la période d'application des dépôts et chèques, le cas échéant (par ex., octroi direct pour janvier, paie du 1<sup>er</sup> au 15 mars). À moins d'autres dispositions prises d'un commun accord, votre village s'engage à faire parvenir à l'ADEC un relevé des deux comptes pour chaque mois, montrant tous les dépôts et retraits effectués sur le compte du village. Ces relevés de compte devront parvenir à l'ADEC dans les 30 jours suivant la fin de chaque mois.

3) Gestion financière de l'octroi central. En acceptant l'octroi à l'exploitation et à l'entretien VSW, votre village devient membre de l'Association VSW. Votre village accorde à l'ADEC le droit de représenter l'Association VSW et de prendre toutes dispositions pour les services professionnels, techniques ou autres, les équipements et les matériaux: de l'avis de l'ADEC, l'obtention la plus efficace se fera globalement au nom de l'Association, et en prélevant des fonds sur le compte central d'E & E/VSW. Avec l'accord des villages, l'ADEC fera le nécessaire pour qu'une firme d'experts-comptables effectue toutes les transactions sur le compte central d'E & E/VSW. Les services de l'expert-comptable seront payés conjointement à l'Association VSW. Votre village accorde à l'ADEC le pouvoir de choisir l'expert-comptable, de négocier son taux de rémunération et de diriger son travail. La rémunération de l'expert-comptable sera prélevée sur le compte central d'E & E/VSW.

S'il advenait que votre village accepte les fonds d'un octroi d'E & E aux termes de la présente lettre, et que le village ne respecte pas les termes de celle-ci en ce qui concerne la gestion des fonds, l'ADEC pourra exiger que le village rembourse les fonds.

Si vous désirez accepter les fonds de l'octroi à l'exploitation et à l'entretien VSW selon les conditions de la présente lettre, veuillez l'indiquer en apposant votre signature ci-dessous et en retournant la copie signée à ce bureau.

L'accord d'octroi devra être signé par une personne morale dûment constituée et habilitée à représenter le village. Il peut s'agir d'un organisme de gouvernement municipal dans le cas d'une municipalité incorporée, d'un conseil constitué en vertu de l'*Indian Reorganization Act* ou d'un village érigé en corporation en vertu de l'*Alaska Native Claims Settlement Act*. Dans un village où une telle personnalité morale est inexistante, le conseil du village peut créer, dans le but précis de gérer l'installation VSW, une corporation sans but lucratif.

L'ADEC verse des paiements d'octroi directement aux villages, lorsque les prévisions budgétaires indiquent que les revenus provenant des usagers ne suffiront pas pour payer les frais d'exploitation autorisés. Les versements d'octrois se font en général trimestriellement, quoique des paiements plus fréquents soient accordés en cas de besoins inhabituels ou d'imprévus. Par contre, aucun octroi n'est versé lorsque les paiements des usagers couvrent les frais d'exploitation.

L'expérience du programme VSW montre que les besoins d'octrois directs aux villages peuvent varier de 0 à presque 85 p. cent du budget d'exploitation d'une installation. Les facteurs qui déterminent la part de l'octroi direct dans le budget d'exploitation de l'installation sont notamment: a) la complexité de l'installation en rapport avec le niveau des services sanitaires assurés; b) la complexité de l'installation en rapport avec les contraintes du milieu; c) les revenus provenant des écoles, cliniques médicales ou autres institutions recevant des services de distribution et d'évacuation des eaux; d) les revenus provenant des usagers; e) la volonté et la capacité des résidents d'assurer une gestion efficace de l'installation.

**Personnel extérieur.** — L'accord d'aide à l'exploitation et à l'entretien comprend une disposition assurant des "services professionnels, techniques ou autres". Pour assurer l'aide technique et administrative, un ingénieur spécialiste des questions relatives à l'environnement et un adjoint à la gestion se rendent dans les villages équipés d'installations VSW. Tous deux sont liés au village par contrat. L'ADEC n'est pas partie contractante, mais il est désigné comme représentant officiel des villages pour l'administration des contrats.

Les services rendus par l'ingénieur sont précisés dans le contrat qu'il signe avec chaque village. Il y a un contrat distinct pour chaque cas, mais les tâches à accomplir sont les mêmes:

L'entrepreneur s'engage à assister les villageois en ce qui concerne l'administration, la gestion, l'E & E de l'installation VSW. Celle-ci comprend tous les ouvrages, installations de services, équipement mécanique et autre, dont la mise en place est financée entièrement ou partiellement en vertu du "Village Safe Water Act" (AS.46.07). Les tâches que doit accomplir l'entrepreneur aux termes de ce contrat sont, de façon non limitative, les suivantes:

1) Travailler et collaborer avec le conseil du village ou tout autre organisme du village responsable de l'administration, de la gestion, de l'exploitation et l'entretien de l'installation VSW.

2) Se rendre sur les lieux à la demande du représentant désigné du village, pour remplir une des tâches prévues par le présent contrat.

3) Intervenir selon les indications du représentant désigné du village, de façon à répondre aux conditions du présent contrat.

4) Tenir un procès-verbal et faire des comptes rendus écrits ou oraux au représentant désigné du village, selon les indications de ce dernier. Ces procès-verbaux et rapports doivent suffire à tenir le représentant désigné du village relativement bien informé sur toutes les activités de l'entrepreneur, qui occasionneront une demande de rémunération aux termes du présent contrat.

5) Surveiller l'état de l'installation VSW relativement à tous les aspects de l'administration, la gestion, l'exploitation et l'entretien.

6) Collaborer avec les opérateurs des équipements VSW et tout autre responsable de l'administration, la gestion, l'exploitation ou l'entretien de l'installation VSW pour toutes les activités que l'on pourrait considérer comme relevant de ces aspects du fonctionnement de l'installation. Ces activités comprennent, de façon non limitative: la mise sur pied et l'utilisation des systèmes de gestion financière, l'établissement et la mise en application de méthodes de gestion du personnel, le diagnostic des défaillances de l'équipement mécanique, la mise en application de procédés d'exploitation et d'entretien courants, l'établissement et l'application des systèmes en vigueur de tenue des livres et de préparation des comptes rendus, le maintien en bon état de toutes les installations matérielles.

D'une façon générale, l'entrepreneur assurera toutes les fonctions exigées, dans des limites raisonnables, par le représentant désigné du village, qui sont en rapport avec l'administration, la gestion, l'exploitation et l'entretien de l'installation VSW et prévues par le présent contrat.

Toute activité de l'entrepreneur pour laquelle une rémunération sera demandée aux termes du présent contrat devra recevoir l'autorisation préalable par écrit du représentant désigné du village. Celui-ci pourra choisir de donner son consentement oral à la place de l'autorisation par écrit. Le représentant désigné du village pourra faire abstraction de cette exigence d'autorisation préalable lorsque le temps nécessaire pour l'obtenir générerait les efforts pour apporter une solution à un problème survenu à l'installation VSW.

L'ingénieur contractant travaille principalement avec les opérateurs qui, dans chaque village, s'occupent de l'équipement et de l'installation VSW. Bien que fixé à Anchorage, il reste à la disposition d'un opérateur de village qui aurait besoin de conseils ou d'aide pour résoudre un problème de mécanique ou de marche à suivre concernant les équipements d'une installation VSW. Il visite chaque village de façon régulière pour vérifier la bonne marche de l'installation. Il encourage l'entretien préventif, apprend aux opérateurs locaux à exécuter diverses tâches d'E & E, encourage la tenue de carnets d'exploitation, enseigne comment prélever des échantillons pour les besoins de surveillance des usines de purification des eaux potables et de traitement des eaux usées.

La personne qui assure l'aide technique VSW doit posséder des qualifications très particulières, notamment:

a) des connaissances en génie sur les techniques de traitement des eaux potables et usées; b) des connaissances électromécaniques et autres relatives aux systèmes de chauffage et de ventilation, à la plomberie, aux groupes électrogènes à diesel, aux piliers réfrigérés pour la construction dans le pergélisol, aux commandes électroniques et mécaniques; c) l'aptitude à communiquer et à travailler avec les résidents des villages; d) des connaissances en matière d'entretien des bâtiments et de responsabilités de conciergerie; e) des aptitudes d'homme à tout faire; f) être disposé à voyager souvent et à passer beaucoup de temps dans les villages.

L'adjoint à la gestion est un sous-traitant de l'ingénieur contractant. Cette disposition est un simple artifice administratif pour éviter de négocier et de signer une deuxième série de contrats, entre l'adjoint à la gestion et les villages.

L'adjoint à la gestion travaille en général avec les comptables des installations VSW dans chaque village. Dans le cadre de ses fonctions au village, il doit: a) aider à organiser un système de tenue des livres conformément aux exigences de l'accord d'octroi VSW; b) expliquer et démontrer la gestion d'un régime de paye; c) conseiller les comptables des villages au sujet des impôts et des rapports des sociétés; d) vérifier périodiquement les livres et le système de gestion pour s'assurer qu'ils sont à jour; e) renseigner les conseils de villages (ou conseils des corporations à but non lucratif), au sujet de la gestion du personnel (par ex., engagement des opérateurs et comptables, établissement des salaires, sélection des avantages en nature); f) apporter une aide au niveau des achats et de la gestion budgétaire, en informant l'ADEC lorsque des octrois directs sont nécessaires, g) rédiger, pour l'ADEC et les villages, un sommaire annuel de l'exploitation de chaque installation.

Tout comme l'ingénieur contractant, l'adjoint à la gestion doit être disposé à voyager fréquemment et à passer beaucoup de temps dans les villages.

**Le fonds central d'E & E.** – D'après les dispositions de l'accord d'octroi d'exploitation et d'entretien déjà décrit dans le présent rapport, un octroi central est établi et versé au "compte central d'E & E/VSW". Le personnel de l'ADEC chargé de la gestion du programme VSW détient le contrôle des fonds des octrois centraux et fait les demandes de montants à prélever sur le compte central d'E & E.

L'objet de l'octroi central est de profiter des avantages d'un regroupement, notamment pour les achats en grandes quantités de produits destinés à tous les villages dotés d'installations VSW. Il est avantageux pour les villages de se regrouper dans les cas suivants: a) la négociation collective d'une police d'assurance-incendie et de responsabilité civile; b) l'achat et l'entreposage de pièces de rechange, équipement et matériaux, en quantités suffisantes pour obtenir des rabais; c) l'administration et la rémunération de l'ingénieur contractant et de l'adjoint à la gestion; d) les transactions avec des compagnies peu disposées à traiter cas par cas avec les villages ou à leur accorder du crédit.

Une firme de comptables a été engagée pour gérer le compte central d'E & E pour l'ADEC et les villages. Les extraits suivants de l'accord entre la firme comptable et l'ADEC donnent une indication de la façon dont ce compte est géré:

Notre firme sera responsable de la production et de la tenue à jour d'une documentation claire sur toutes les transactions faites à partir du compte central d'E & E/VSW à la First National Bank of Anchorage. Vous serez le détenteur de tous les chèques en blanc tirés sur ce compte. Vous n'établirez de chèques qu'uniquement à la demande écrite de l'ADEC, demande qui sera accompagnée d'un document précisant l'objet du chèque. Vous devrez vérifier l'exactitude des chiffres fournis dans le document, puis établir le chèque de façon appropriée. En tant que co-titulaire du compte, vous signerez les chèques demandés et établis, puis vous les conserverez dans vos dossiers jusqu'au dernier jour ouvrable de chaque semaine, jour auquel vous les livrerez à l'ADEC pour examen et contre-signature. Après la signature par l'ADEC, vous posterez les chèques immédiatement à l'intention des bénéficiaires respectifs. Vous conserverez dans vos bureaux un dossier contenant l'ensemble de la documentation justificative de tous les chèques.

Notre firme sera responsable de la tenue de livres de comptes clairs et complets pour tous les chèques tirés sur le compte central d'E & E/VSW et pour tous les versements à ce compte. Dans une copie de la présente lettre, nous demandons à la First National Bank of Anchorage d'envoyer à l'ADEC et à votre firme des copies de tous les relevés, reçus et autre correspondance concernant ce compte. Les dépôts dans le compte se feront sous forme d'octrois versés périodiquement par l'ADEC, directement à la banque.

Outre la préparation des chèques et la tenue des comptes, vous ferez des rapports mensuels et annuels à l'ADEC. Les rapports mensuels comprendront, pour le mois écoulé: 1) une liste de tous les dépôts au compte central d'E & E/VSW, avec indication du montant déposé, date du dépôt et numéro d'ordre de l'État; 2) une liste de tous les chèques tirés sur le compte, avec indication du bénéficiaire, numéro du chèque, montant, date d'émission du chèque et son objet (l'objet du chèque sera communiqué par l'ADEC dans la demande écrite d'établissement du chèque); 3) le solde du compte à la fin du mois; 4) le total des dépenses dans les catégories suivantes: a) paiements à l'ingénieur contractant: des totaux distincts pour les frais de voyage, allocation journalière, paie horaire et frais remboursables à l'ingénieur, et des frais de voyage, allocation journalière, frais remboursables et paie horaire de l'adjoint à la gestion; b) paiements à votre firme; c) paiements autres que a) et b) ci-dessus. Les rapports annuels comprendront, pour l'année précédente, les mêmes articles que les rapports mensuels, sauf que les totaux seront annuels.

Le rapport mensuel doit être soumis au plus tard le 10 courant pour le mois précédent. Le rapport annuel doit être soumis le 15 juillet au plus tard pour l'exercice précédent. "Vous pourrez soumettre une demande de paiement mensuelle indiquant la période pour laquelle le paiement est demandé, ainsi que la liste des heures de travail, à quel taux horaire, du personnel impliqué.

D'après l'expérience du programme VSW, les paiements d'octrois centraux représentent à peu près le quart de tous les versements d'octrois E & E/VSW. Autrement dit, les paiements d'octrois directs représentent les trois quarts environ du total des octrois versés, et les paiements d'octrois centraux représentent environ le tiers de l'ensemble des paiements d'octrois directs.

## CONCLUSION

Dans l'Alaska rural, assurer des services sanitaires conformes aux normes actuelles est une entreprise difficile et coûteuse. L'isolement, les rigueurs du milieu et les disparités culturelles empêchent la plupart des villages d'obtenir des services modernes de distribution d'eau, d'évacuation des eaux usées, de bains et buanderies, sans recourir à une aide extérieure, sous une forme ou une autre.

Le plus souvent, les efforts gouvernementaux visant à apporter cette aide ont été concentrés sur la construction, avec des efforts auxiliaires d'assistance technique et de formation. Cependant, presque tous les programmes sanitaires ruraux tendent à éviter un engagement ferme au niveau de l'aide financière, technique et gestionnaire, pour assurer la continuité des services.

L'existence du programme E & E/VSW ne constitue pas un engagement de l'État de l'Alaska dans la voie du soutien financier, technique et gestionnaire à long terme pour les villages dotés d'installations VSW. Pour faire face aux problèmes d'E & E dans les villages, on attend des recommandations sur les solutions à long terme issues de la planification globale des services sanitaires ruraux par l'ADEC et l'USPHS. Le but du programme d'exploitation et d'entretien VSW est simplement d'empêcher la défaillance des quelques installations VSW construites, avant que les résultats de la planification ne soient connus.

Tout le programme VSW, y compris la planification, la construction, l'exploitation et l'entretien, a pour objectif primordial de remettre la gestion des activités du programme, dans la mesure du possible, entre les mains des villages et de leurs représentants régionaux. Les corporations de services à but non lucratif qui existent dans chaque région concernée par l'Alaska Native Claims Settlement Act, notamment les Sociétés régionales de santé, constituent des centres de gestion logiques pour un programme sanitaire villageois. En principe, ces sociétés sont reconnues par les résidents des villages comme représentantes des habitants ruraux, et elles sont censées posséder des connaissances approfondies sur les conditions dans les villages.

Malheureusement, le rôle gestionnaire de ces sociétés régionales n'est pas encore pleinement développé et il leur manque la stabilité et l'expérience nécessaires pour assumer l'ensemble des responsabilités des programmes de services complexes. Toutefois, la responsabilité du programme peut être transférée aux villages ou aux organismes régionaux compétents, à tout moment et dans toute la mesure souhaitable. Par exemple, le représentant du village désigné dans le contrat de l'ingénieur pourrait être un organisme régional ou le village lui-même. De même, l'accord d'octroi avec l'ADEC peut être adapté au degré d'indépendance financière et aux compétences gestionnaires d'un village particulier.

Les efforts visant à minimiser la participation directe de l'État de l'Alaska à la gestion des installations VSW seront poursuivis dans la mesure où ils n'entraîneront pas des défaillances graves des installations sanitaires.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Reid, B.H., Some Technical Aspects of the Alaska Village Demonstration Projects, *Utilities Delivery in Arctic Regions*, rapport EPS 3-WP-77-1, pp. 391 à 430, 1977.
- Sargent, J.W. et Scribner, J.W., Village Safe Water Projects in Alaska – Case Studies, *Utilities Delivery in Arctic Regions*, rapport ESP 3-WP-77-1, pp. 439 à 447, 1977.

## SIXIÈME SÉANCE CHAUFFAGE ET DÉGEL DES CONDUITES

### UTILISATION DE L'EFFET DE SURFACE POUR LA PROTECTION CONTRE LE GEL DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU

Robert W. Tracey  
Ricwil Incorporated,  
Brecksville (Ohio)

Le chauffage par effet de surface (*Skin Effect Current Tracing* ou SECT) est une technique originale et sûre pour le chauffage électrique des canalisations ou conduites. Cette méthode est sans risque pour le personnel et elle peut être utilisée, tout en se conformant au *Code national du bâtiment* dans les zones dangereuses. Dans le monde entier, le système SECT a été utilisé pour des tuyaux d'un diamètre de 19 à 1 016 mm et il peut au besoin être utilisé pour des tuyaux de plus grand diamètre. Des réseaux de conduites de 60 m à 48 km de longueur sont chauffées grâce à cette technique. Les conduites de 16 à 24 km de longueur peuvent généralement être chauffées à partir d'une seule source d'alimentation. Avec la haute qualité et la fiabilité qui les caractérisent, SECT convient particulièrement pour la protection contre le gel des réseaux d'adduction dans les régions du Nord, où la continuité des services doit être assurée au sein d'un environnement hostile.

#### CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE PAR EFFET DE SURFACE

**Circuit de chauffage SECT.** — Le circuit de chauffage SECT comprend deux éléments essentiels : un tuyau chauffant en acier au carbone et un câble chauffant torsadé en cuivre, isolé. Lorsqu'il est relié à une source de courant alternatif, le courant de chauffage passe dans le câble et revient par le tuyau chauffant à la source de courant, complétant le circuit (voir figure 1).

Les propriétés ferromagnétiques du tuyau chauffant, alliées à deux phénomènes électriques, ont dans cette technique un rôle important. L'effet de surface se produit uniquement avec des conducteurs parcourus par du courant alternatif : Le flux de courant est concentré juste sous la surface extérieure de la section transversale du conducteur. Quant à l'induction mutuelle elle a lieu entre le courant aller et celui de retour, forçant le courant de retour à s'accumuler ou à se concentrer à proximité du courant du conducteur aller. Pour SECT, le conducteur de retour est le tuyau chauffant et la densité du courant de retour est donc plus forte à proximité de sa surface intérieure. Presque aucun courant ne passe à la surface extérieure (voir figure 2). La conception du système est telle que la pénétration maximale du courant dans la paroi du tuyau chauffant n'est que de 0,9 mm. Même intentionnellement mise à la masse, la surface extérieure n'occasionnera pas de court-circuit et n'amènera pas le courant à traverser la paroi.

Puisque aucun courant d'intensité notable ne passe à la surface (extérieure) du tuyau chauffant, ou de la conduite porteuse en métal à laquelle le premier est fixé, la tension au sol est nulle. De ce fait, le système SECT est électriquement sûr et la mise à la terre du réseau peut s'effectuer sans problème.

Le courant alternatif à des fréquences d'alimentation normales, par ex., 60 Hz, allié aux propriétés magnétiques du tuyau chauffant en acier au carbone et du câble résistant à la chaleur, assure un système de chauffage des réseaux d'adduction qui est à la fois fiable, efficace et électriquement sans danger. La charge d'un système de chauffage par effet de surface a un facteur de puissance très élevé : 90 p. cent en moyenne, pour la plupart des applications.

Le câble fournit environ 20 p. cent du chauffage total, le reste étant assuré par le tuyau en acier, grâce aux pertes par courants de Foucault.

**Pertes de chaleur et apport calorifique.** — Pour définir les caractéristiques auxquelles doit répondre un système SECT, il faut d'abord déterminer les pertes de chaleur de la substance transportée. Lorsqu'on connaît le diamètre d'une conduite, la température à laquelle il faut maintenir la substance acheminée et la température ambiante, ainsi que les conditions de l'installation (conduites posées au-dessus du sol, souterraines ou immergées), on peut s'appuyer sur le type et l'épaisseur de l'isolant et sur le nombre de tuyaux chauffants pour

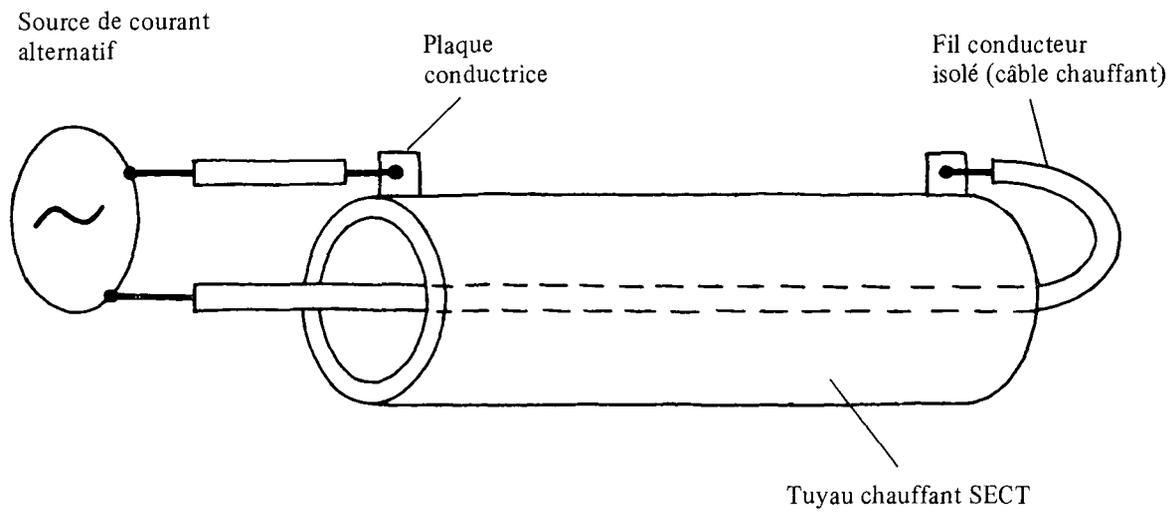
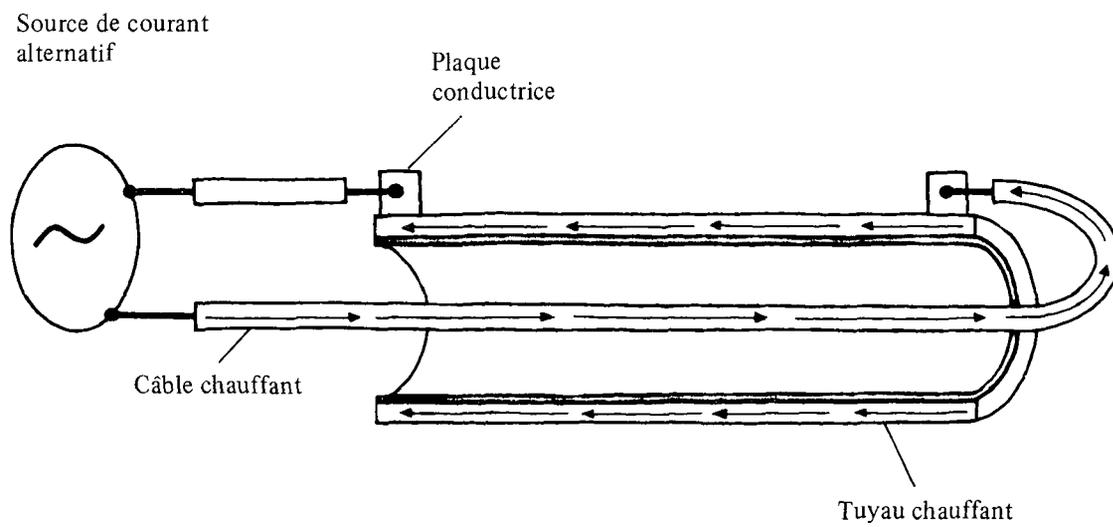


Figure 1 Schéma du tuyau chauffant et du câble chauffant



Le courant sort par le câble chauffant  
et revient par la surface intérieure du tuyau.

Figure 2 Flux de courant par effet de surface

déterminer les pertes de chaleur. Les apports calorifiques nécessaires sont alors calculés d'après des considérations de temps d'échauffement et de fonctionnement du système dans le milieu. Les pertes de chaleur et l'apport calorifique sont exprimés en watts par mètre.

**Transfert de chaleur à la conduite porteuse.** — En fait, dans le système SECT, le tuyau chauffant est soudé le long d'une conduite porteuse en acier au carbone ou en acier inoxydable, afin d'obtenir le maximum de transfert de chaleur du tuyau chauffant, à la paroi de la conduite. Une simple soudure en cordon continu joint le tuyau chauffant à la conduite porteuse pour produire un pontage conduisant bien la chaleur. On peut utiliser une soudure non continue, pourvu que les écarts ne soient pas supérieurs à 2 pouces, afin d'obtenir un transfert uniforme de chaleur (voir figure 3).

Si la soudure n'est pas possible, un ciment de transfert de chaleur peut être appliqué entre le tuyau chauffant et la conduite porteuse avec un dispositif de serrage mécanique pour maintenir un contact étroit. De même, la fixation d'un tuyau chauffant sur une conduite porteuse non métallique (polyéthylène, fibre de verre saturée d'époxyde, etc.), s'effectue par serrage mécanique avec un mécanisme de transfert de chaleur approprié afin de répartir la chaleur autour de la paroi de la conduite porteuse.

**Sources d'alimentation.** — Chaque centre d'alimentation SECT (voir figure 4) comprend un transformateur conçu pour être alimenté en courant triphasé, à 60 Hz, de 480 ou 460 volts. Comme autres tensions au primaire, on a : 2 400 V, 4 160 V, 4 800 V, 12 470 V, etc. Les tensions au secondaire, c'est-à-dire sur les circuits chauffants du système SECT, peuvent varier de 50 volts jusqu'à la limite de conception permmissible, qui est de 5 000 volts. Ce plafond de 5 000 volts est une limite pratique car il faut éviter les dommages causés par l'effet de couronne qui est marqué au-dessus de ce niveau. Ni le personnel ni les objets environnants ne sont en contact avec les tensions du système SECT. Les tensions employées sont fonction de la longueur de ligne. Des systèmes

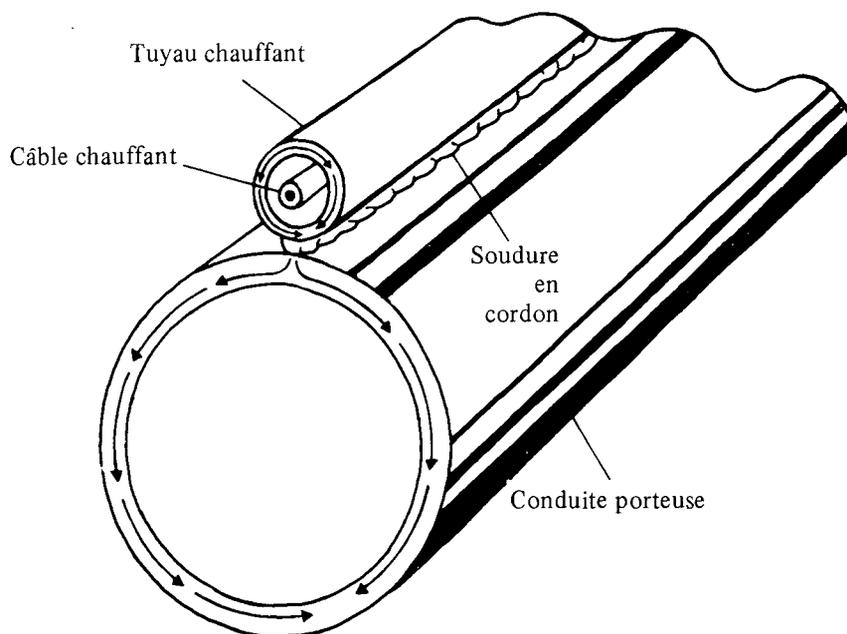


Figure 3 Transfert de chaleur entre le tuyau chauffant et la conduite porteuse

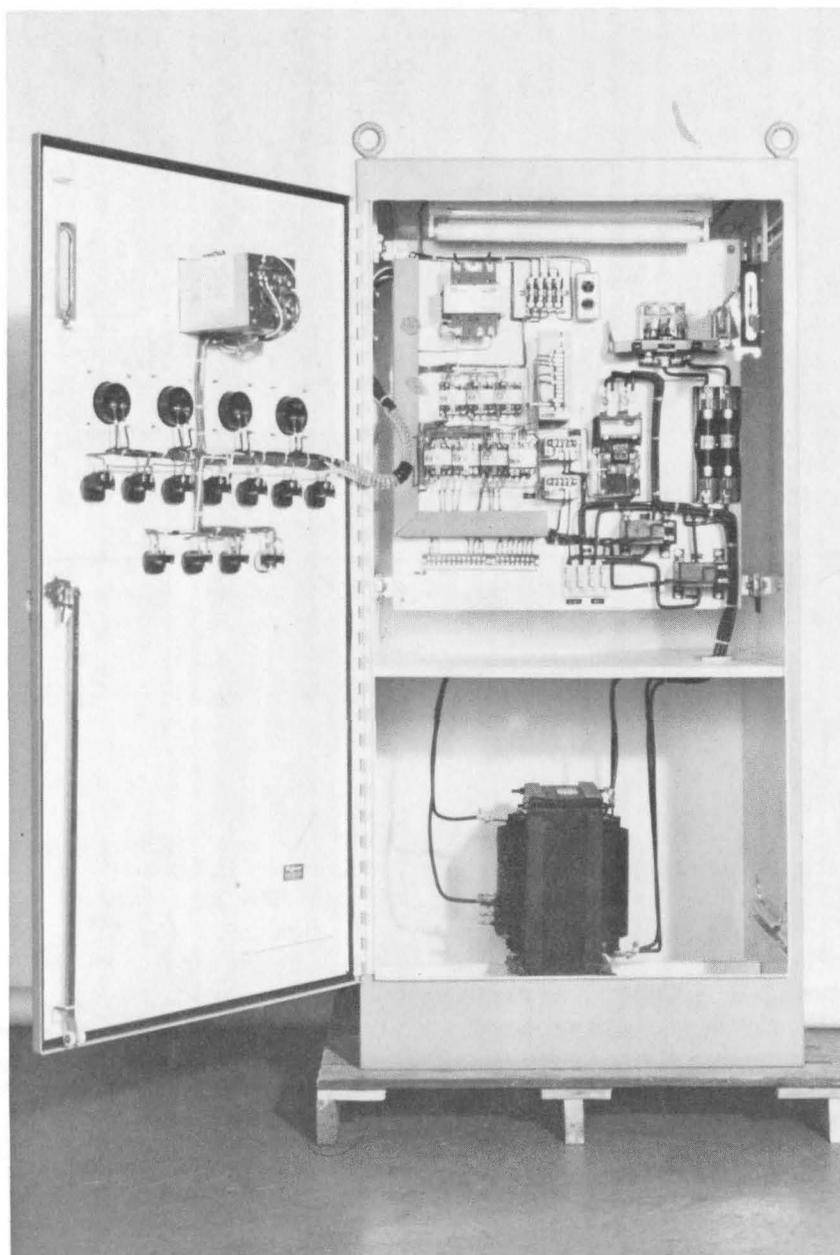


Figure 4 Centre d'alimentation du SECT

d'alimentation avec un point milieu ou par sections permettent l'utilisation de tensions plus basses et, par conséquent, d'isolants plus économiques tant pour le câble d'alimentation que l'équipement de contrôle. Par exemple, l'alimentation avec un point milieu permet d'utiliser un équipement de 600 volts plutôt qu'un équipement de 5 000 volts, à la fois plus cher et plus encombrant. De plus, étant donné la limite supérieure de 5 000 V du système SECT, une alimentation avec un point milieu permet pour un voltage donné de doubler la longueur chauffée depuis une source d'alimentation commune (voir figure 5). Les charges de chauffage du SECT peuvent être alimentées en courant monophasé ou polyphasé, selon le nombre de tuyaux chauffants et la puissance électrique requise.

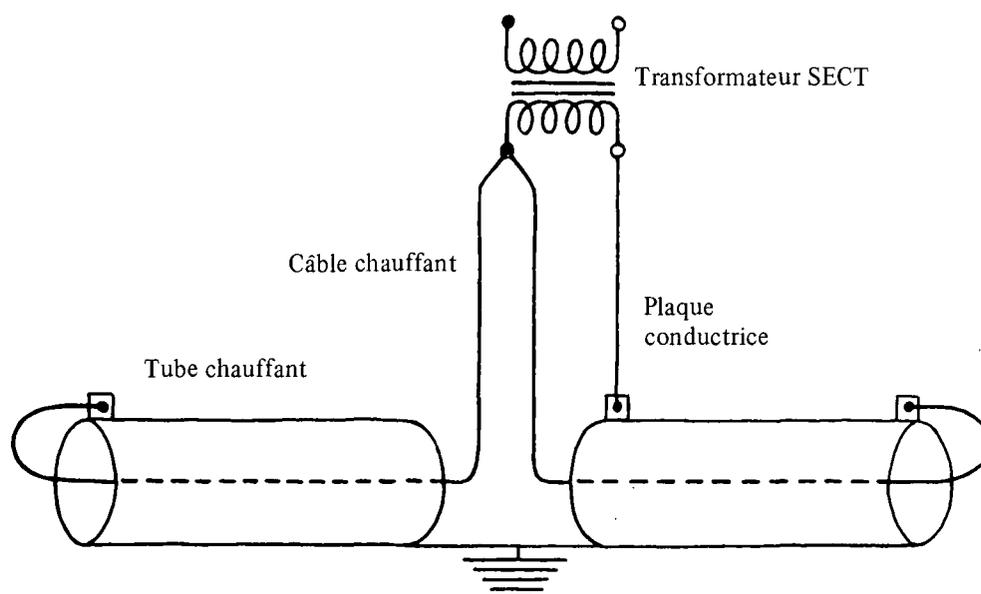


Figure 5 Système à alimentation avec un point milieu de mise à la terre

**Contrôle automatique de température.** — L'un des aspects les plus fiables du système SECT est le contrôle automatique de la température. Un capteur au platine (RTD)<sup>1</sup> de faible impédance (voir figure 6), commande le processus de détermination de la température du tuyau. Ce dispositif, à trois fils, autocompensé, n'est pas affecté par la longueur des fils et n'est pas sujet aux interférences dues aux tensions parasites. Le capteur au platine est inséré dans l'un des bras du pont de mesure d'un contrôleur de température transistorisé. Les variations de température déséquilibrent l'impédance du pont de mesure et donnent un signal qui permet le contrôle. La commande automatique de température à affichage visuel possède des dispositifs avertisseurs en cas de haute ou de basse température (voir figure 7). On obtient ainsi un contrôle précis, à  $\pm 5$  p. cent, de la température des conduites. Généralement, un seul circuit de commande (capteur) est nécessaire pour un réseau de conduites. Un capteur intermédiaire peut être ajouté si la température du produit acheminé atteint un point critique.

**Taille des tuyaux chauffants.** — Le diamètre des tuyaux chauffants varie de 13 à 32 mm, mais on peut également utiliser d'autres tailles. Leur longueur dépend de la chaleur exigée et du diamètre des câbles chauffants (pour permettre le tirage du câble, la section transversale ne doit pas occuper plus de 50 p. cent de l'espace disponible à l'intérieur du tuyau chauffant). Le nombre de tuyaux chauffants requis pour une conduite porteuse donnée est déterminé par les besoins en chauffage et le diamètre de la conduite.

**Raccordement du tuyau chauffant; préparation de l'assemblage sur place.** — En prévision du raccordement sur place de la conduite pré-isolée, le tuyau chauffant s'arrête à environ 5 cm de l'extrémité de la conduite porteuse, ce qui laisse assez d'espace pour effectuer la soudure. De plus, environ 13 cm avant l'extrémité de la conduite porteuse, le tuyau chauffant n'est pas soudé, mais légèrement cintré depuis la surface de la conduite porteuse. Cela permet de laisser un espace suffisant pour compléter ultérieurement la soudure autour du tuyau chauffant. Une fois la conduite porteuse soudée, les extrémités du tuyau chauffant peuvent être raccordées.

<sup>1</sup> RTD (*Resistance temperature detector*) est un dispositif dont la résistance électrique varie en fonction de la température.

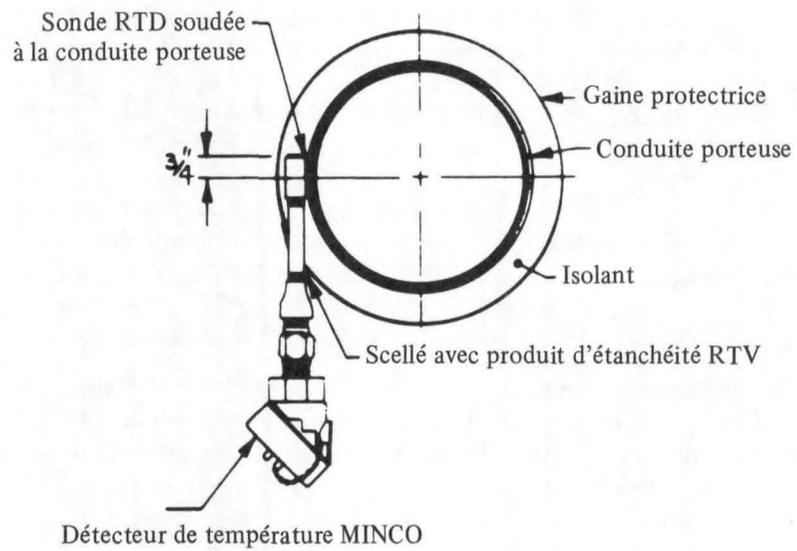


Figure 6 Capteur RTD

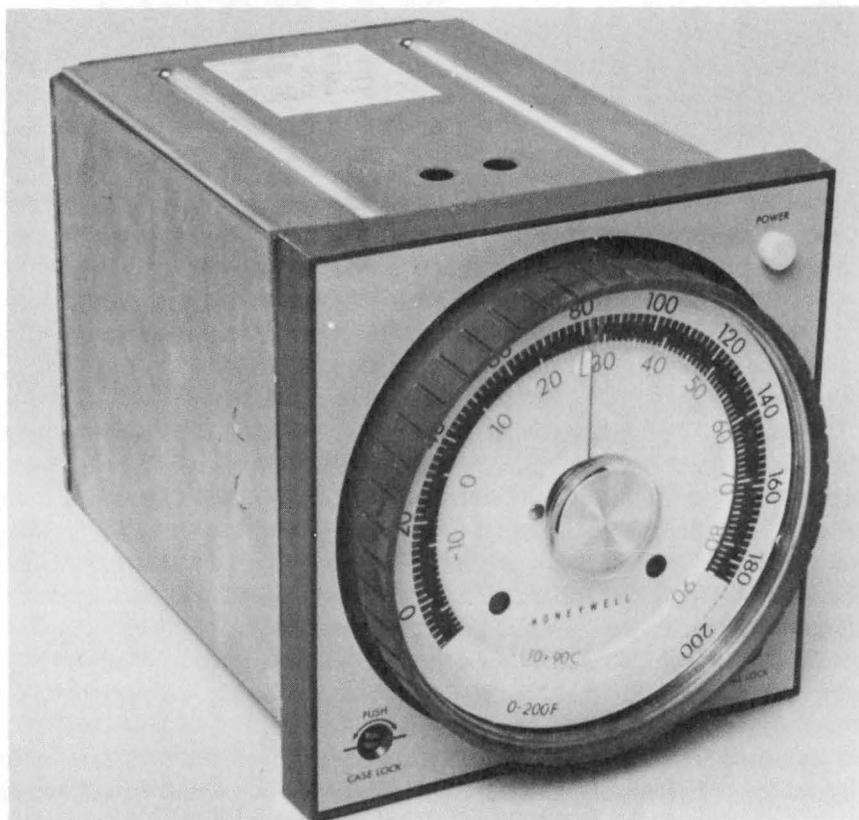


Figure 7 Commande automatique de température

Pour les installations SECT montées sur place, les tuyaux chauffants sont soudés à la conduite porteuse une fois celle-ci assemblée. Le raccordement des tuyaux chauffants ne nécessite pas un décalage aussi grand que dans le cas précédent.

Un guide-câble flottant, de même diamètre que le tuyau chauffant, est inséré entre les deux extrémités du tuyau chauffant devant être raccordées; ainsi, lorsque le câble chauffant sera passé dans la conduite, sa gaine ne s'usera pas par frottement.

Les tuyaux chauffants sont reliés par un raccord droit coulissant sur le joint qui maintient en place le guide-câble. Chaque extrémité du raccordement est soudée en continu sur tout le pourtour du tuyau chauffant. Ces soudures doivent être étanches à l'air. Le tuyau chauffant est appliqué contre la surface de la conduite porteuse et soudé pour assurer la continuité du transfert de chaleur. Si l'espace restant entre la conduite et le tuyau chauffant est de 3 mm ou plus, une cale en acier doux est insérée avant la soudure (voir figure 8).

**Tirage et épissage du câble chauffant.** – Des boîtiers de traction peu épais et étanches sont prévus pour faciliter le tirage du câble. Ces boîtiers étanches à l'air sont espacés de 90 ou 120 mètres, ou plus rapprochés en cas de dérivations multiples. Les tuyaux chauffants sont insérés dans les trous de dégagement aux extrémités des boîtiers de traction et soudés sur tout le pourtour pour garantir l'étanchéité à l'air (voir figure 9). Les tuyaux chauffants sont mis à l'épreuve à une pression de 10 à 15 lb/po<sup>2</sup>, et savonnés, avant d'isoler et de poser les raccords de l'enveloppe sur les joints effectués sur place.

Le câble chauffant est tiré à l'intérieur du tuyau chauffant de la même façon qu'un câble d'alimentation est tiré dans un conduit. On passe un chiffon de nettoyage dans le tuyau avant de tirer le câble, pour enlever l'humidité ou tout corps étranger.

Des revêtements isolants dotés d'un bon coefficient de résistance à l'abrasion sont prévus pour le câble chauffant; l'épaisseur de la paroi du tuyau chauffant limite l'espace disponible pour le câble à 50 p. cent ou moins. On peut utiliser pour lubrifier le câble les produits sans pétrole vendus dans le commerce. La tension de traction, elle, est limitée par le fait qu'on ne peut employer plus de deux hommes : on ne doit jamais utiliser de treuil mécanique. Un guide d'insertion du câble, tel qu'un entonnoir ou des galets, est utilisé pour éviter la déformation du câble ou l'abrasion à l'entrée du tuyau. Le câble doit toujours être tiré à partir d'un dévidoir rotatif. Il est protégé contre la contamination et l'humidité par des feuilles de plastique ou un autre revêtement approprié, posé entre le câble et le sol.

Les épissures s'effectuent à l'aide de l'outillage fourni par l'usine, comprenant : connecteurs d'extrémité, à sertissage, pince à sertir, ruban adhésif conducteur de chaleur et manchons thermorétrécissants. Les épissures du câble chauffant, au besoin, sont faites dans les boîtes de traction. Les boîtiers de traction sont espacés pour faciliter le tirage du câble et suivre les changements de direction; ainsi, les épissures sont faites seulement dans les boîtiers de traction compatibles avec les longueurs standards de câble. Le nombre d'épissures est réduit au minimum.

Un essai intermédiaire du câble est effectué au cours du montage avec un mégohmmètre de 500 volts c.c. donnant une lecture de résistance. La résistance câble-terre doit être supérieure à 20 mégohms.

#### **APPLICATION DU SYSTÈME SECT AUX SYSTÈMES DE DISTRIBUTION D'EAU, DE COLLECTE DES EAUX USÉES ET DE LUTTE CONTRE LES INCENDIES**

**Combinaisons possibles actuellement.** – Des systèmes de chauffage SECT ont été fournis pour un large éventail de modèles de conduites isolées utilisant tous les types courants de matériaux isolants et gaines métalliques ou en plastique, pour des réseaux de conduites au-dessus du sol, souterraines ou immergées. À ce jour, le système de chauffage SECT n'a été utilisé que pour les conduites porteuses en acier au carbone et en acier inoxydable, bien que le système SECT ne soit absolument pas restreint à cette application.

Le système SECT a été fourni essentiellement comme partie intégrante d'une tuyauterie préfabriquée; dans certains cas, cependant, il a été installé sur place. Des réseaux de conduites peuvent en effet être modifiés pour intégrer un système chauffant SECT. Il existe un certain nombre d'installations où il a fallu ajouter, après coup, un système de chauffage (le SECT), tandis qu'ailleurs, le SECT est venu remplacer la technique de chauffage existante. En général, pour des raisons d'économie, de commodité ainsi que d'assurance d'une qualité uniforme, l'approche choisie a été celle d'un système de chauffage SECT combiné à une tuyauterie préfabriquée et pré-isolée.

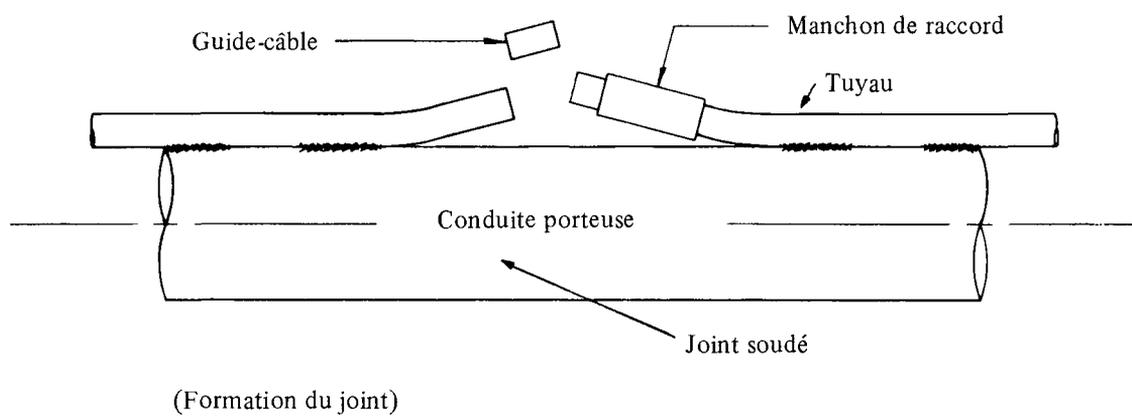


Figure 8 Raccordement du tuyau chauffant

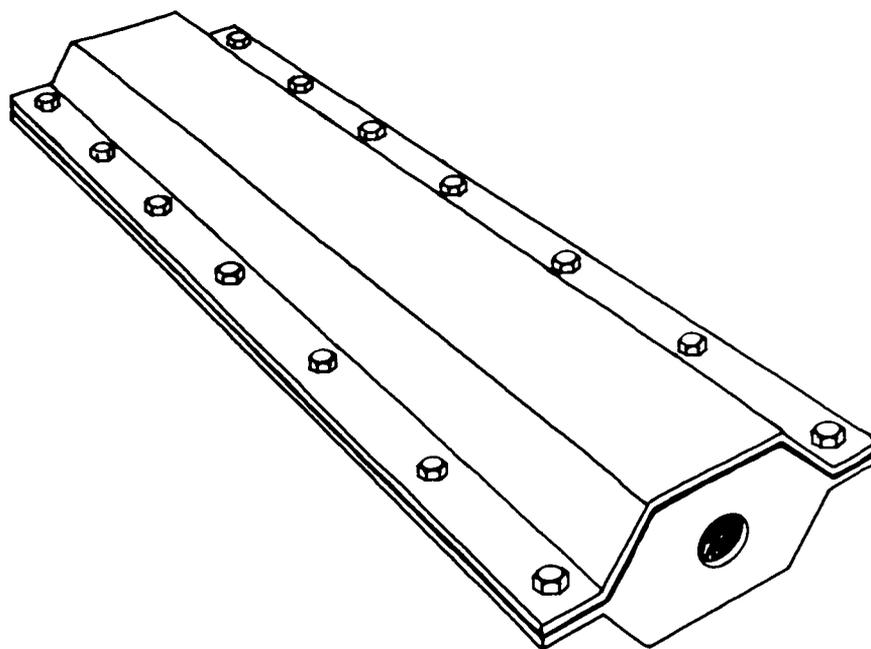


Figure 9 Boîtier de traction pour câble chauffant

**Réseaux de conduites pré-isolées et chauffées SECT.** — Les réseaux de conduites pré-isolées SECT, pour des températures de la substance transportée inférieures à 120 °C, sont équipés d'un isolant en mousse de polyuréthane rigide appliquée dans l'anneau entre la conduite porteuse et la gaine protectrice extérieure (voir figure 10). La conduite porteuse, avec son tuyau chauffant, est centrée à l'intérieur de la gaine. La mousse est appliquée en continu et en petites quantités, sur un ruban à l'intérieur de l'anneau, où elle monte très rapidement à cause de la réaction exothermique. Les coudes en S et les tés sont fabriqués en usine d'une manière semblable. Les tuyaux chauffants sont formés pour suivre le contour du raccord, soudés ou fixés mécaniquement en place, puis ajustés avec des sections d'enveloppe en onglet; on termine en saturant de mousse la cavité, à l'aide d'une lance.

Les sections de conduites pré-isolées sont fournies en longueurs nominales de 12 ou 6 m (longueur double ou simple). Au besoin, des tuyaux chauffants peuvent être ajoutés à la robinetterie, pour éviter les pertes de chaleur importantes.

La mousse de polyuréthane a le plus faible facteur K (conductivité thermique) de tous les matériaux isolants (pour conduites) actuellement existants; son rendement est excellent au point de vue de la résistance à la compression et de la résistance à l'absorption d'eau, et il présente une très bonne stabilité dimensionnelle (voir tableau 1). L'isolant en mousse de polyuréthane est fourni avec les réseaux de conduites pré-isolées pour permettre de compléter les joints sur place. Dans les cas où les températures très froides du Nord pourraient gêner l'application sur place de la mousse, des couvertures souples en polyuréthane peuvent être utilisées pour maintenir les mêmes propriétés qu'avec la mousse rigide.

Les matériaux de chemisage pour les réseaux de conduites du système SECT (conduites pré-isolées et saturées de mousse), sont l'acier ou l'aluminium galvanisé à joints à recouvrement en spirale, pour les installations au-dessus du sol, et le polyéthylène ou le chlorure de polyvinyle, pour les installations sous terre ou au-dessus du sol (résistant aux ultraviolets).

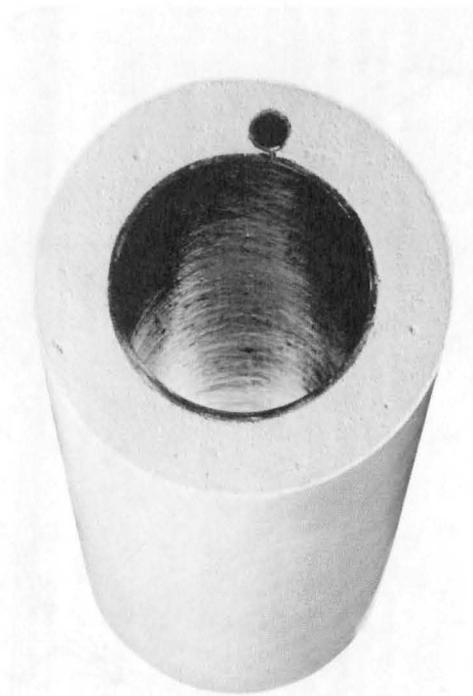


Figure 10 Conduite pré-isolée avec système de chauffage SECT

Tableau 1 Caractéristiques de la mousse de polyuréthane

1)	Densité, lb/pi <sup>3</sup> (ASTM D 1622-73)	
	a) montée libre, mélange manuel général, masse, 250 g	1,85
	b) montée libre, noyau, mélange manuel, masse, 250 g	1,78
	c) moulée, hors-tout	2,35
	d) moulée, noyau	2,25
2)	Résistance à la compression, lb/po <sup>2</sup> (ASTM D 1621-73)	
	a) parallèle à la montée	38,4
	b) perpendiculaire à la montée	32,0
3)	Coefficient de dilatation linéaire, °C-1 (ASTM D-696)	8,85 × 10 <sup>-5</sup>
4)	Coefficient de conductivité thermique – Btu. po/h.pi <sup>2</sup> . °F (ASTM C-518)	
	a) initial	0,1269
	b) après 30 jours	0,1320
5)	Absorption d'eau. g/cm <sup>2</sup> (ASTM D-2842)	0,0309
6)	Perméabilité à la vapeur d'eau (ASTM C-355)	1,760

Le polyéthylène à densité élevée semble convenir parfaitement comme matériau de chemisage robuste, pouvant être utilisé pour les installations au-dessus du sol, souterraines ou immergées, et il convient particulièrement bien aux températures très basses du Nord.

**Matériaux des conduites.** — Les matériaux non métalliques présentent des avantages pour les réseaux aménagés dans le Nord, une excellente résistance à la corrosion à long terme étant l'une de leurs principales qualités. Comme nous l'avons souligné, le système SECT a été utilisé jusqu'à maintenant pour des tuyaux en acier au carbone et en acier inoxydable. Nous pensons, cependant, qu'il peut également être avantageux pour les conduites non métalliques. Les techniques pour fixer le tuyau chauffant et pour amener la chaleur du tuyau autour de la paroi de la conduite en plastique ont déjà été mises au point; puisque les conduites en matière plastique ont un coefficient de conductivité thermique élevé, ce système viendrait améliorer l'efficacité du transfert de chaleur. Le matériau de conduction thermique serait une épaisse feuille d'aluminium ou peut-être une feuille d'acier doux. Et le tuyau chauffant serait fixé à la conduite porteuse au moyen de simples bandes de serrage mécanique (voir figure 11).

Les tuyaux SECT peuvent être soudés à une conduite en acier avec revêtement intérieur, à condition que celui-ci soit posé après le soudage du tuyau, ou en comptant que le revêtement ne sera pas endommagé par la chaleur au moment du sondage. Des réseaux de conduites d'eau galvanisées, chauffées par le système SECT, sont installés en plusieurs endroits en Alaska. Bien qu'alors le zinc passe sur les surfaces d'acier dégarnies des plaques à proximité, mieux vaut, si possible, galvaniser après la soudure pour assurer une protection maximale contre la corrosion.

**Diverses combinaisons possibles pour les conduites d'eau chauffées par le système SECT.** — Installé à l'intérieur de la conduite porteuse, immergé dans la substance à transporter, le tuyau chauffant SECT fonctionne efficacement. Il peut être rendu étanche et le câble peut être raccordé et bouclé. Des réseaux de conduites sur-utilisés seraient une source potentielle de difficultés pour un tuyau chauffant intérieur, surtout au niveau des robinets des tés et aux changements de direction. Quant à l'électrolyse elle ne devrait pas poser de problème, puisqu'il n'y a pas de flux de courant sur la surface extérieure du tuyau. Le rendement du transfert de chaleur en vue de la protection du réseau contre le gel serait bon, et les pertes de chaleur à l'extérieur ou au sol seraient réduites. Si cette approche semble attrayante pour certains réseaux de distribution dans le Nord, on pourra procéder à des calculs et à des études opérationnelles supplémentaires (voir figure 12).

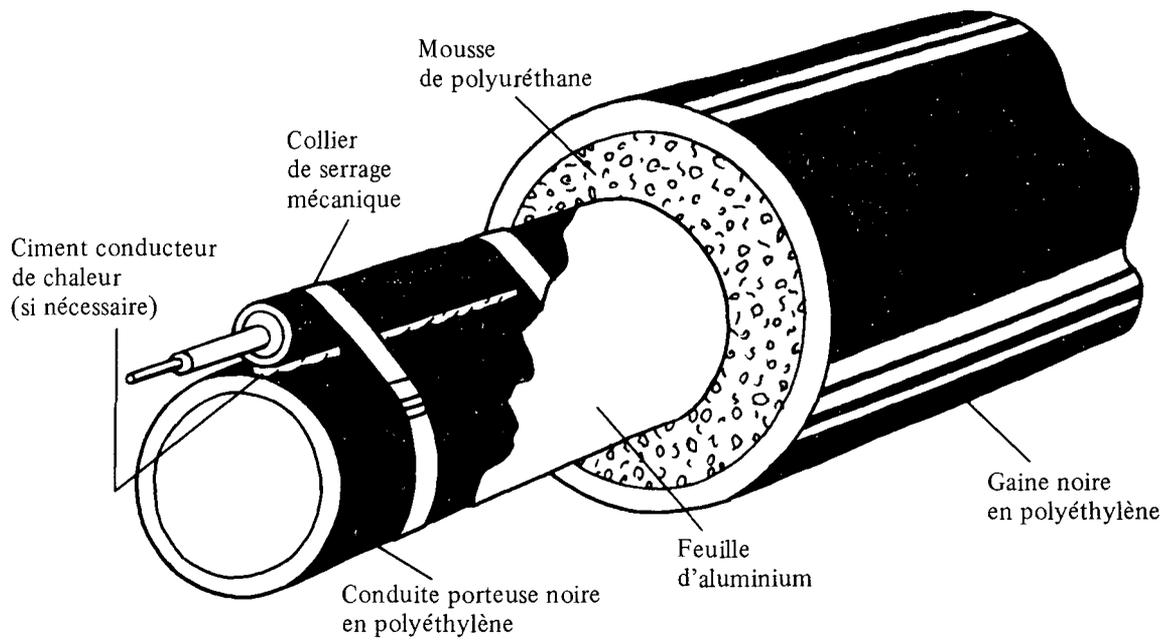


Figure 11 Pose du tuyau SECT sur une conduite en plastique

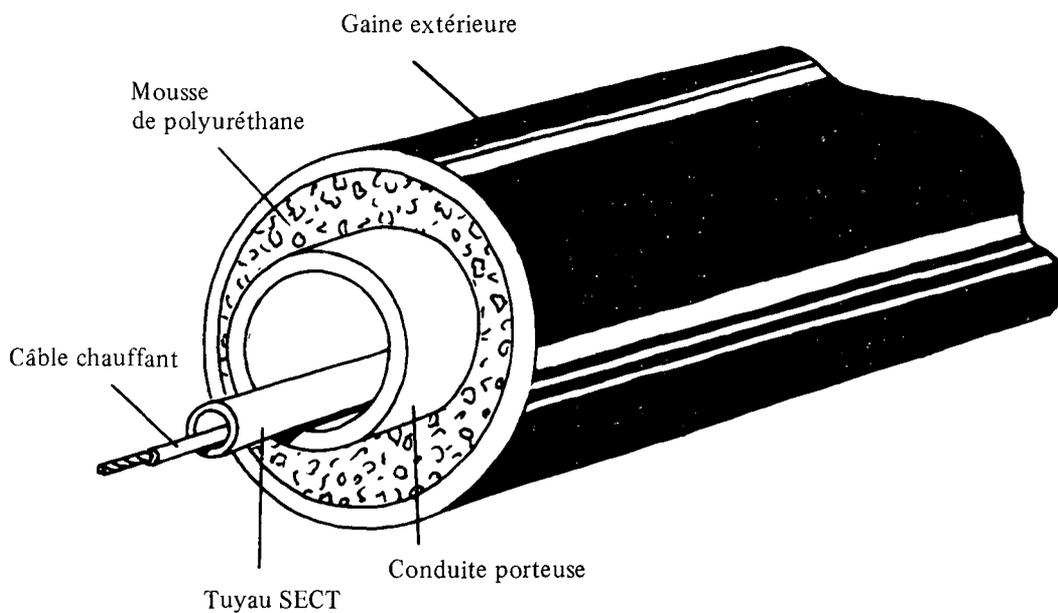


Figure 12 Tuyau SECT à l'intérieur d'une conduite porteuse

Une autre possibilité serait d'installer plusieurs tuyaux à nu, chauffés par SECT, dans un conduit commun isolé, sur le modèle du concept des utilidors. Il serait peut-être même possible de fixer le tuyau chauffant sur une seule conduite et d'obtenir ainsi un chauffage suffisant pour l'ensemble, sans surchauffer la conduite d'eau (voir figure 13).

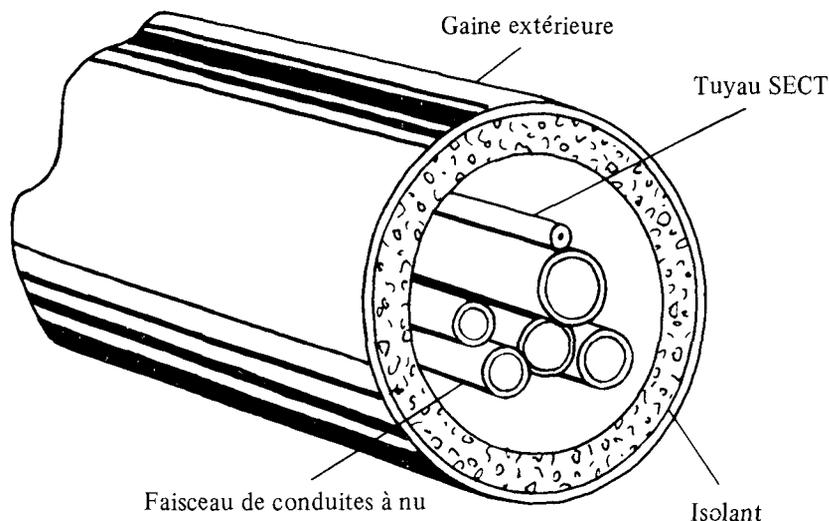


Figure 13 Faisceau de conduites à nu et tuyau SECT dans un conduit commun isolé

**Sûreté du système électrique.** — Le système SECT, de par sa conception, fonctionne en toute sécurité. Puisque le courant de surface revenant par le tuyau se concentre sur la surface intérieure et ne circule pas à la surface extérieure, la tension au sol est nulle, comme s'il y avait une impédance infinie de la surface intérieure à la surface extérieure, celle-ci se comportant comme un isolant. De plus, les courants de fuite sont presque inexistants; avec une conduite métallique, le problème de la circulation d'un courant de fuite dans l'eau transportée ne se pose donc pas, même si le courant isolé continue de suivre la surface intérieure de la paroi du tuyau sans traverser cette paroi.

Le tuyau chauffant, ou la conduite dans le cas d'une conduite en acier, doit être mis à la masse car des tensions peuvent apparaître sur les conduites, qu'elles soient ou non chauffées par effet de surface. Des charges statiques peuvent s'accumuler sur les tuyaux SECT par la friction du produit qui passe dans la conduite. De plus, puisque les conduites qui suivent une ligne parallèle de haute tension captent des courants induits, on recommande la mise à la masse des conduites dans tous les cas.

**Sécurité du personnel.** — Quels que soient les niveaux de tension du système SECT, les tensions sont isolées du personnel et des objets environnants. Les boîtiers d'alimentation et de jonction, où se trouvent les raccordements des circuits des conduites, sont des boîtiers préfabriqués, moulés en aluminium et renforcés, munis de couvercles étanches et bien fixés (voir figure 14). Les circuits de haute tension dans les enceintes d'alimentation et de contrôle sont bien isolés des circuits de commande de basse tension. Le panneau de commande accessible au personnel est isolé de la composante à haute tension, le tout conformément aux pratiques courantes de l'industrie.

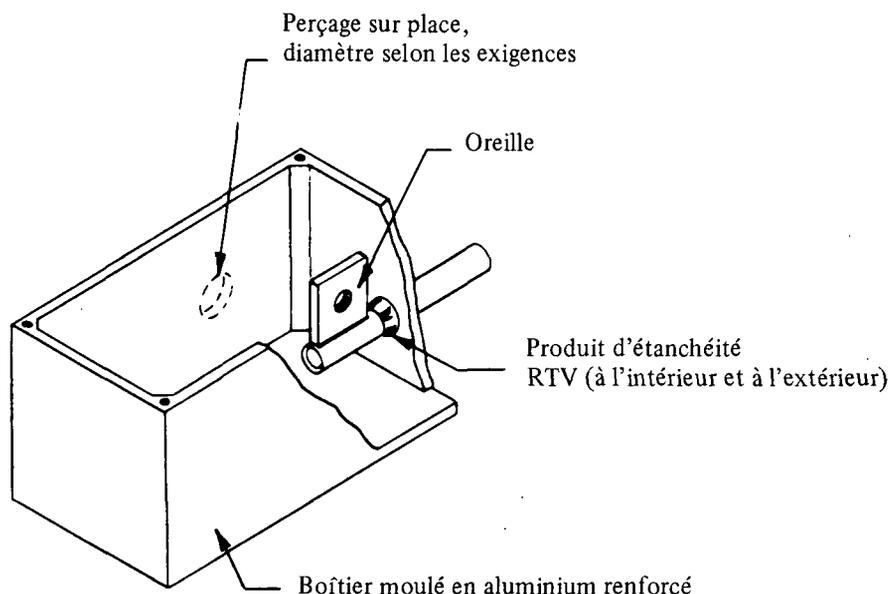


Figure 14 Boîtier d'alimentation et de jonction

**Fonctionnement en milieu dangereux.** — Lorsqu'une conduite chauffée, dans le Nord, traverse une zone qualifiée de "dangereuse", on peut utiliser le système SECT en parfait accord avec les exigences de la classification "atmosphère explosive". Il existe des boîtiers d'alimentation et de jonction à l'épreuve des explosions; de plus, lorsqu'on ne peut pas éloigner le centre d'alimentation et de commande électrique de la zone dangereuse, on peut obtenir des enceintes conformes aux exigences du fonctionnement en milieu dangereux.

**Considérations relatives au rendement.** — Les réseaux de conduites chauffées par effet de surface sont conçus de manière à assurer une efficacité maximale et de nombreuses années de service sans panne. Leur conception tient compte de toutes les caractéristiques des conduites, des conditions opérationnelles et de l'incidence sur le milieu. Combinés, le système SECT et les conduites préfabriquées et pré-isolées sont encore plus dignes de confiance puisque la fixation du tuyau chauffant, l'application de l'isolant, l'assemblage de la conduite et de la gaine protectrice ainsi que la fabrication du câble chauffant, tous font l'objet d'un contrôle de qualité de grande précision, en milieu contrôlé.

Pour les systèmes de chauffage par effet de surface, on a choisi des composantes de très bonne qualité. Les transformateurs, les commutateurs, les instruments et l'ensemble des accessoires ont tous une performance très élevée. Les capteurs de température RDT, combinés, avec la commande automatique de température, permettent un chauffage précis de la substance transportée. Ces deux éléments ont fait leurs preuves sur des conduites chauffées par effet de surface, dans les régions les plus froides du Nord. Le cas échéant, dans les endroits éloignés ou dans les cas critiques, on peut avoir recours à des thermostats et capteurs.

Une protection par relais de surintensité est prévue pour les systèmes SECT, pour couper l'alimentation électrique advenant une défectuosité du câble. Dans le cas d'une alimentation avec un point milieu, un relais différentiel compare constamment le flux de courant d'une section à l'autre, ce qui permet de détecter toute surintensité ou un courant trop faible.

Des dispositifs de commande Thyristor(SCR)<sup>1</sup> peuvent être fournis à la place de dispositifs électromécaniques, pour actionner ou interrompre le circuit de chauffage, sur signal du système de commande automatique de température. Ces dispositifs commutent les circuits soit en conduisant soit en ne laissant pas passer le

<sup>1</sup> SCR : Silicon Controlled Rectifier.

courant; ils permettent d'éviter les problèmes d'arc ou d'étincelles inhérents aux dispositifs électromécaniques. Les thyristors sont ordinairement plus chers que les contacteurs secondaires, mais pour les zones qualifiées de "dangereuses", quand il est impossible d'éloigner l'armoire de commande, il peut s'avérer moins coûteux d'utiliser un thyristor que d'installer le contacteur dans une enceinte à l'épreuve des explosions. De plus, lorsqu'un contrôle très strict de la température est nécessaire (fluides volatils ou instables), les thyristors sont utilisés pour assurer un contrôle à  $\pm 1$  p. cent sans problèmes d'arc et de brûlage des contacts, associés au broutage des contacts des dispositifs électromagnétiques.

**Sûreté du câble chauffant SECT.** — Les câbles chauffants isolés sont choisis en vue d'une longévité maximale et d'un service sans problème. Les températures de l'isolant sont généralement celles recommandées par le fabricant pour un fonctionnement continu, ce qui assure, pour l'isolant, une longévité d'au moins 25 ans avec très peu de frais supplémentaires. Les températures des câbles sont les suivantes : 90 °C, 125 °C, 150 °C, 200 °C, 250 °C et 400 °C, ce qui peut convenir pour toute une gamme de produits à transporter. Les tensions nominales pour l'isolant sont de 600 et 5 000 volts, bien que des valeurs de 1 000 et de 2 000 volts puissent être utilisées pour certaines dimensions de câbles. Le revêtement du câble a été choisi pour sa forte résistance à l'abrasion. Afin d'obtenir une conductivité électrique maximale et une bonne souplesse lorsqu'il y a mise en place ou retrait du câble, on utilise uniquement un câble en cuivre torsadé.

**Programme d'entretien sur place.** — Un service sur place est essentiel pour l'entretien des réseaux de conduites chauffées par effet de surface. En prévision de toute défectuosité du matériel ou problèmes de main-d'oeuvre, on assure une garantie d'un an après l'expédition de tous les réseaux de conduites pré-isolées et chauffées par un système SECT. Afin que cette garantie soit valide, un conseiller compétent doit être présent lors des phases critiques de l'installation pour s'assurer que les méthodes appropriées sont suivies.

Lors des phases mécaniques de l'aménagement du réseau de conduites, soit la préparation du raccordement sur place, le test pour détecter les fuites aux soudures, l'installation et la mise à l'essai du câble chauffant, le conseiller observera et au besoin apportera sa contribution, pour vérifier que les techniques appropriées sont appliquées.

À la phase de l'installation électrique, l'ingénieur sur place passera en revue toutes les connexions de circuits et circuits de commande, et mettra en marche le système, qui devrait fonctionner correctement. Il s'assurera également que le chauffage est efficace et que le système de commande automatique fonctionne comme prévu.

**Aspects économiques des réseaux de conduites chauffées par un système SECT.** — L'économie d'un SECT, compte tenu du rendement élevé du système, est de la plus haute importance; il faut donc viser un bon équilibre entre le coût initial du système et le coût de l'énergie qu'exige l'exploitation du réseau. Or, les besoins d'énergie sont inversement proportionnels à l'épaisseur de l'isolant. Lorsque cette épaisseur augmente, les besoins d'énergie baissent puisque les pertes de chaleur diminuent; par contre, lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente, les gaines protectrices sont plus larges et le coût de la tuyauterie nécessaire augmente en conséquence. Il faudrait une évaluation plus poussée pour savoir si un coût initial plus élevé est justifié par des coûts d'exploitation réduits, ou pour savoir de combien le coût initial peut être majoré pour réaliser des économies d'énergie.

Réduire les pertes de chaleur et conserver l'énergie est l'un des principaux problèmes que posent les réseaux de conduites chauffés dans le Nord, où les coûts d'énergie et d'exploitation sont élevés et où des pertes de chaleur excessives peuvent causer le dégel (peu désirable), des sols. Dans ces régions, l'équilibre à réaliser entre les coûts initiaux et les pertes de chaleur acceptables (sans nuire à l'écologie des sols), est fort délicat.

L'efficacité du SECT prend ici tout son sens du fait que, grâce à la chaleur engendrée par les courants de Foucault, le tuyau chauffant en acier fournit plus de chaleur par unité d'énergie consommée que tout autre forme de chauffage électrique.

Lorsque les tensions secondaires d'une conduite chauffée par effet de surface dépassent 600 volts, et pourvu qu'il existe le long de la conduite un endroit convenable pour l'alimentation électrique, on fait appel à un système d'alimentation avec un point milieu pour diviser la tension et réduire à moins de 600 volts chaque segment d'alimentation, ce qui permet une réduction substantielle du coût de l'isolation électrique de classe 5 kV, pour le câble, les transformateurs, l'interrupteur, les contacteurs, etc., par rapport à l'équipement standard de 600 volts.

Pour les conduites chauffées par un système SECT qui ont plus de 24 km, lorsque des centres d'alimentation multiples sont nécessaires, il faut envisager la possibilité d'une gestion des charges. Des systèmes fiables

de gestion des charges peuvent être incorporés à la commande automatique SECT pour contrôler le système de chauffage et éviter que toute l'énergie soit consommée en une seule fois. Cette technique affecte un ordre de priorité aux charges individuelles et nivèle les courbes de demande. Grâce aux économies réalisées en réduisant la demande d'électricité, le coût du système de gestion des charges peut être défrayé en moins de 6 ou 8 mois.

Les centres d'alimentation et de commande sont faits sur mesure pour les besoins d'une installation donnée. Des ensembles simples et peu onéreux sont utilisés lorsque cela est possible, comportant uniquement les instruments et dispositifs de contrôle essentiels.

On peut réaliser encore d'autres économies à l'installation des réseaux de canalisation pré-isolées. Les pièces droites ou préfabriquées (coudes, té, etc.), sont montées en usine sous un contrôle strict, ce qui limite le travail sur le chantier à l'assemblage et à la préparation des raccords. Les coudes, les coudes en Z et les boucles de dilatation sont fabriqués avec les plus fortes tangentes possibles pour réduire l'assemblage et le soudage sur place. Les tuyaux chauffants SECT, les boîtiers de traction et le puits thermoélectrique où est enfermée la sonde du capteur RTD sont soudés en usine pour certaines pièces faciles à repérer et à assembler sur place.

**Compatibilité du système SECT avec une protection cathodique.** — Nous avons déjà noté que le système de chauffage SECT ne produit pratiquement pas de courant de fuite sur la paroi de la conduite porteuse. Nous avons aussi souligné que la tuyauterie chauffée par un système SECT peut et doit être mise à la masse. Pour les conduites en acier enfouies avec système de chauffage SECT, la mise à la masse peut être assurée par l'intermédiaire d'anodes sacrificielles lorsqu'une protection cathodique est nécessaire. Il ne se produit absolument aucune réaction entre les courants de chauffage SECT et les courants de protection cathodique. Le chauffage SECT et la protection cathodique sont compatibles.

**Conception de l'emballage.** — Le centre d'alimentation du SECT et le panneau de commande sont assemblés et câblés dans des enceintes approuvées par l'Association canadienne des constructeurs de matériel électrique (voir figure 15). Ces enceintes doivent être verticales (par ex. au sol ou sur support), ou montées au mur, selon la taille et le nombre des composantes impliquées. Le branchement électrique de ces enceintes peut être situé en haut, sur le côté, derrière ou en bas, selon les instructions du client. Dans de nombreux cas, le centre d'alimentation et le panneau de commande sont réunis dans une enceinte commune (avec une division appropriée), qui donne accès au panneau de commande du compartiment d'alimentation contenant le transformateur d'alimentation du SECT et le disjoncteur ou interrupteur primaire à fusibles.

Le transformateur et le disjoncteur peuvent être installés dans une enceinte séparée, soit tout près du panneau de commande, soit loin de celui-ci; le choix dépend généralement des connexions existantes et de la puissance du transformateur. Si le transformateur est très grand ou si la tension du SECT nécessite un équipement de classe 5 kV, on utilisera probablement un transformateur rempli d'huile plutôt qu'un modèle de type sec, et il sera monté sur supports.

Le panneau de commande contient la commande de température, le relais de surintensité, un ampèremètre, un voltmètre, les dispositifs de contrôle, voyants de position (sous tension, hors tension, avertisseurs de haute et basse température, etc.) et un interrupteur manuel. Derrière le panneau de commande se trouvent le contacteur secondaire du disjoncteur primaire, les relais de commande et les transformateurs des instruments et de commande et, dans de nombreuses installations, le transformateur d'alimentation (voir figure 16).

**Considérations sur le lieu d'installation.** — Les centres d'alimentation et de commande du SECT peuvent être fournis pour un aménagement intérieur ou extérieur. L'enceinte n° 4 de l'Association canadienne des constructeurs de matériel électrique est étanche et conçue pour l'extérieur; l'enceinte n° 12 est prévue uniquement pour l'intérieur. Des variantes de ces deux versions standards peuvent être fournies selon le lieu d'installation précis.

Comme on l'a mentionné auparavant, les enceintes à l'épreuve des explosions qui peuvent être fournies sont conformes aux exigences pour zones dangereuses de la classe 1, division 1 ou division 2, ou du groupe D. Dans la mesure du possible, l'enceinte du panneau de commande doit être située en dehors de la zone dangereuse, car les ensembles à l'épreuve des explosions coûtent 4 à 5 fois plus cher que les ensembles standards. Il n'est pas nécessaire que le panneau de commande soit près de la conduite. Les commandes peuvent être situées à distance, celle-ci n'étant limitée que par la chute de tension du câble d'alimentation. Par ailleurs, les enceintes ordinaires peuvent être placées dans une construction qui elle est à l'abri des explosions, ce qui constitue un choix beaucoup moins onéreux si le compartiment de commande ne peut pas être situé ailleurs.

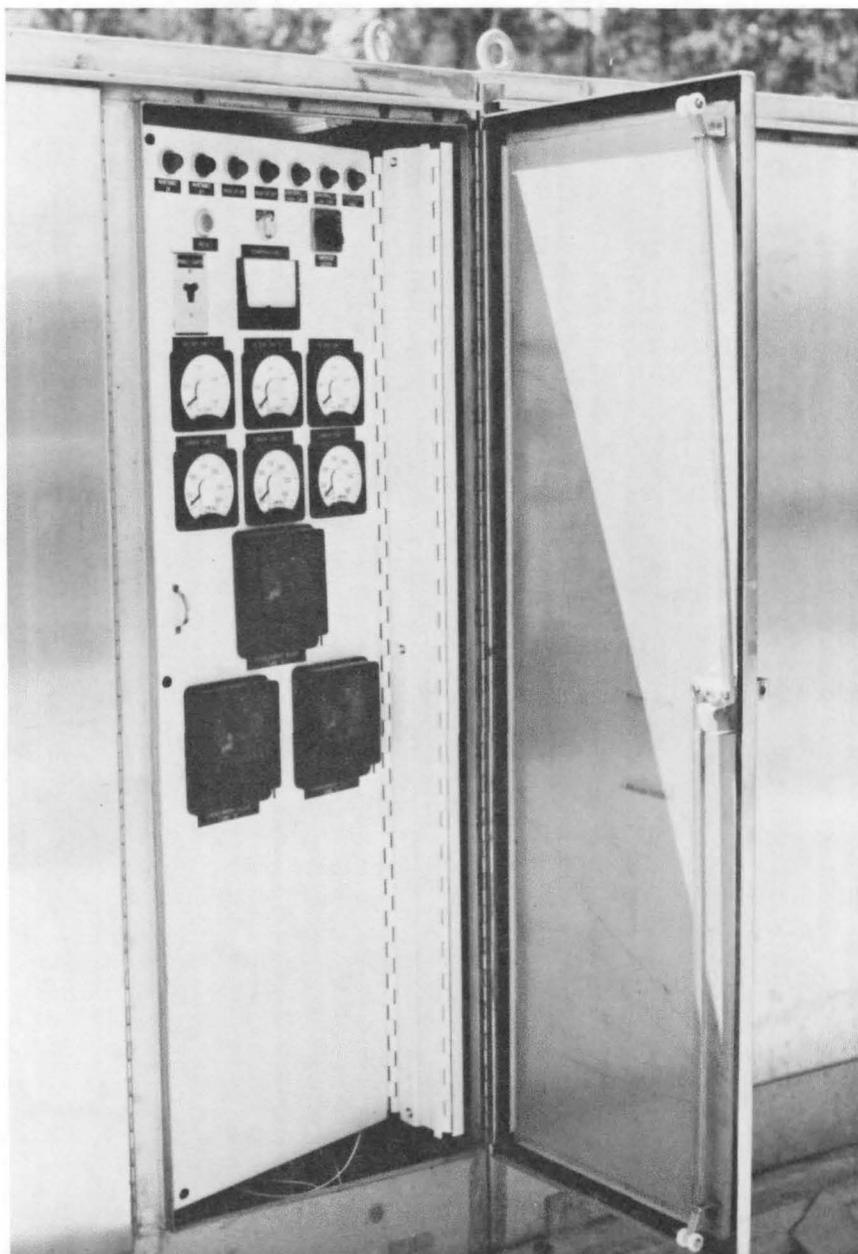


Figure 15 Enceinte pour dispositifs d'alimentation et de commande approuvée par l'Association Canadienne des constructeurs de matériel électrique

#### ÉTUDE DES CONDUITES CHAUFFÉES PAR EFFET DE SURFACE

**Description sommaire des installations existantes.** — Dans le monde, plus de 250 réseaux de conduites chauffées par SECT ont été aménagés ces quinze dernières années. Cela représente des centaines de milles de tuyauterie chauffée par SECT, avec une puissance totale dépassant 70 MVA. La température des produits transportés varie de 1,5 °C à 175 °C. Un certain nombre de ces installations assurent la protection contre le gel des conduites d'eau. En tout, plus de 30 produits différents sont acheminés, le diamètre de la tuyauterie variant de 25 à 760 mm.

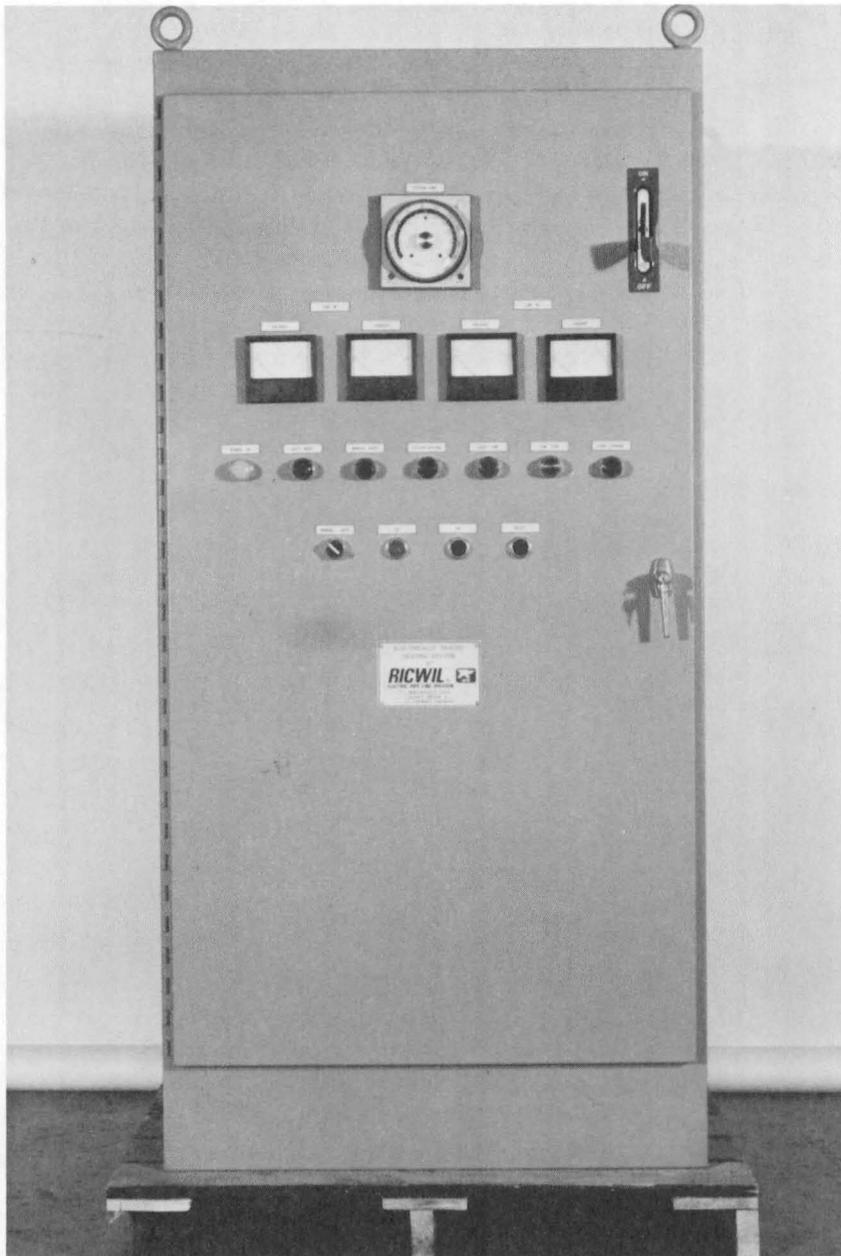


Figure 16 Panneau de commande SECT type

Ces réseaux supportent toutes sortes de conditions difficiles : placés au-dessus ou au-dessous du sol, immergés ou situés dans des zones dangereuses. Il existe une conduite de 1 340 mètres utilisant un tuyau transporteur de gaz naturel de 150 mm à Drake Point, Melville Island. Pan Arctic Oils Ltd. a installé la conduite sur la glace polaire et sous la calotte glaciaire, immergée jusqu'à une tête de puits de gaz. Le système SECT fonctionne de façon fiable, maintenant un chauffage approprié et un contrôle de température conforme aux prévisions (voir figure 17).



Figure 17 Pan Arctic Oils, Ltd., conduite de gaz de Drake Point

Ces installations comprennent plusieurs conduites de soufre en fusion (2 au Canada), à une température de 150 °C. Dans le cas de l'une de ces conduites, il s'est produit un bouchon de froid dans une section, après des coupures de courant (sans aucun rapport avec le système SECT). La conduite a pu être chauffée avec succès et remise en service au bout de sept heures.

Le soufre peut exercer de très fortes contraintes lors du refroidissement et du réchauffement, ce qui risque de briser la conduite si on n'avait rien prévu à ce sujet lors de la conception. Or, dans le cas cité plus haut, le débit de la conduite fut restauré sans problème. Pour les deux installations canadiennes, le réseau complet a été conçu en usine et pré-isolé.

Des installations actuellement en opération, 87 p. cent ont été livrées complètes avec canalisations pré-isolées et 13 p. cent avec système SECT monté sur place.

**Description sommaire des systèmes préfabriqués et des systèmes pré-isolés.** — De nombreux réseaux, déjà aménagés ou en voie de l'être, comprennent plusieurs milles de tuyauterie demandant une puissance supérieure 2 MVA. Le diamètre des tuyaux varie de 75 à 400 mm et la température du produit de 1,5 à 150 °C. 90 p. cent des systèmes sont fournis avec la tuyauterie pré-isolée et 10 p. cent le sont avec système de chauffage SECT devant être installé sur place. L'éventail de produits transportés est très vaste. Il existe des installations souterraines et au-dessus du sol, et d'autres dans des zones considérées comme dangereuses. Une liste partielle des produits passant dans des conduites chauffées par un système SECT figure au tableau 2.

De nombreux autres projets sont actuellement à l'étude, y compris plusieurs réseaux de conduites isolées avec protection contre le gel.

Tableau 2 Liste partielle des produits chauffés grâce au système SECT

Acide acétique	Lubrifiant
Acétylène	Molasse
Asphalte	Gaz naturel
Benzène	Acide organique
Fluide pour freins	Paraxylène
Gaz butane	Phénol
Soude caustique	Phosgène
Chocolat -- beurre	Phthalique
Pétrole de craquage	Brai
Gaz brut	Mortier peu épais
Pétrole brut	Soufre
Mazout	Goudron
Isocyanate	Eau

#### RÉSUMÉ DES AVANTAGES DU SYSTÈME SECT POUR LES RÉSEAUX DE CANALISATIONS DISTRIBUTRICES

**Souplesse du concept.** — Le chauffage SECT peut convenir à une grande variété de réseaux de canalisations, spécialement conçus pour l'environnement nordique et ses contraintes. Bien qu'à ce jour le système de chauffage SECT n'ait jamais encore été appliqué à une tuyauterie non métallique, cela est faisable; il reste à achever les études pratiques et à compléter l'aspect mécanique. On peut sur demande obtenir des renseignements sur les applications dans ce cas.

Les innovations propres aux systèmes de chauffage SECT pour le Nord (installation de tuyaux chauffants à l'intérieur du tuyau transporteur), nécessitent des études plus approfondies pour être avantageuses et économiques à long terme.

**Avantages à court terme.** — Les systèmes SECT permettent un chauffage très efficace tout en économisant l'énergie. Cependant, le coût du SECT par rapport à d'autres systèmes de chauffage peut être mal interprété. Les applications individuelles doivent être examinées en tenant compte en particulier de la fiabilité inhérente au système SECT et à son utilisation efficiente de l'énergie. Des conduites de 200 mètres ou plus devraient assurer des économies par rapport aux autres moyens de chauffage, surtout si chaque élément du système SECT se voit reconnaître un avantage de coût réaliste. C'est lorsqu'un réseau complet de conduites pré-isolées chauffées par SECT est fourni que les économies sont les plus évidentes. La constance de la qualité et les économies de l'installation sur place peuvent être considérables.

Parmi les autres avantages à court terme, citons un service compétent sur place permettant d'assurer la qualité de l'aménagement, des plans d'installation complets, des manuels d'exploitation et d'entretien avec une aide technique pour le projet.

**Avantages à long terme.** — Parmi les avantages à long terme on compte la conception de bonne qualité, la sûreté de l'installation et le fait qu'il s'agit d'un produit fabriqué en usine. Les réseaux de conduites chauffées par effet de surface garantissent de nombreuses années de service continu et sans problème. Grâce à l'entretien très réduit et aux frais d'exploitation avantageux, l'investissement initial s'avère très rentable. L'aide technique ainsi que l'aide à l'E & E sont toujours disponibles en cas de besoin. La fiabilité et l'adaptabilité aux conditions locales des réseaux de conduites chauffées par effet de surface peuvent encourager et améliorer l'aménagement des services dans le Nord.

## SIXIÈME SÉANCE CHAUFFAGE ET DÉGEL DES CONDUITES

### CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE ET CONSERVATION DE L'ÉNERGIE DANS LE CAS DES INSTALLATIONS NORDIQUES

Ben C. Johnson, R. Knox Pitzer et George Tarbutton  
Thermon Manufacturing Company  
San Marcos (Texas)

Les investissements en matériaux, en équipement et en énergie qu'exige de nos jours toute installation comprenant un système de chauffage électrique sont suffisamment élevés pour justifier une conception, un choix et une installation très soignés. Le choix de l'élément chauffant n'est évidemment pas le seul facteur à considérer. L'isolation thermique et les dispositifs de contrôle de la température déterminent grandement l'efficacité générale du système de chauffage électrique.

#### IMPORTANCE DE L'ISOLATION THERMIQUE

Il faudrait plusieurs centaines de pages pour analyser en détail le type d'isolant à utiliser pour les conduites ou canalisations chauffées. En résumé, la température du câble chauffant et la température de la canalisation (équilibre) varient en fonction des conditions ambiantes. Les circuits de chauffage électrique sont conçus de façon à maintenir la canalisation à une température constante. Le plus souvent, cela signifie que le câble chauffant fournit une quantité de chaleur équivalant à celle qui se perd à travers l'isolant. D'ordinaire, le système de chauffage est conçu avec un facteur de sécurité surpassant la normale de 10 à 25 p. cent. Un pourcentage plus élevé entraîne des pertes d'énergie et coûte inutilement cher.

**Choix des matériaux isolants.** — On doit choisir avec soin le matériau isolant pour l'équipement et les canalisations chauffées électriquement. Les facteurs les plus importants à considérer dans ce choix sont les suivants : 1) caractéristiques thermiques; 2) propriétés mécaniques; 3) exigences chimiques; 4) résistance à l'humidité; 5) santé et sécurité; 6) coût.

**Effets d'un isolant humide.** — Pour qu'un système chauffé électriquement fonctionne correctement, il faut que l'isolant soit sec. Le système électrique ne fournit généralement pas assez de chaleur pour sécher l'isolant s'il est humide. Certains isolants ne retrouvent jamais leurs qualités d'origine après avoir été mouillés, même si on les retire pour les faire sécher.

La citation suivante, tirée du *Thermal Insulation* de John F. Malloy, décrit l'effet de l'humidité sur l'isolant :

Pour donner de bons résultats, les isolants thermiques doivent être relativement secs. Lorsque l'isolant est mouillé, entièrement ou en partie, ses interstices remplis d'air ou de gaz sont envahis — totalement ou partiellement — par l'eau. La conductivité de ses interstices saturés d'eau est alors plus proche de la conductivité de l'eau que de celle de l'air ou des gaz. La conductivité thermique de l'eau à une température moyenne de 70 °F est de 4,1 Btu/h·pi<sup>2</sup>·°F/po, comparativement à 0,17 pour l'air. Les pertes de chaleur à travers chaque interstice sont environ 24 fois plus grandes lorsqu'il est plein d'eau que lorsqu'il est rempli d'air. Un isolant complètement sec ayant une conductivité de 0,16 à 0,38 aura une conductivité de 5,0 à 5,5 Btu/h·pi<sup>2</sup>·°F/po une fois mouillé. Quand l'eau gèle, la conductivité thermique augmente encore, puisque la conductivité de la glace à 32 °F est d'environ 15,5 Btu/h·pi<sup>2</sup>·°F/po. La conductivité d'un isolant peut ainsi passer de 0,15/0,35 à plus de 15,5, ce qui représente de 50 à 100 fois le taux initial.

Les exemples donnés ci-dessous illustrent les différences de pertes de chaleur pour une quantité d'eau égale à 1 p. cent du volume de l'isolant, pour une conduite enfouie à une profondeur de 60 cm, avec une température du sol de -12 °C et une conductivité thermique du sol de 1,5 Btu/h·pi<sup>2</sup>·°F. À cause de la basse température moyenne de l'isolant, l'eau se transforme en glace.

Dans le numéro d'octobre 1974 de l'*ASREA Journal* (pp. 61-62), M. Ludwig Adams présente une méthode de calcul du changement de valeur du facteur K dû à la pénétration d'humidité.

Dans nos exemples, la conductivité thermique de l'isolant a été multipliée par 2,16 et les pertes de chaleur ont augmenté de plus de 100 p. cent.

#### CONDITIONS

La température sous le sol est de  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , l'isolant est en polyuréthane rigide, épais de 5 cm, et le facteur de sécurité est de 10 p. cent.

#### Sans humidité

Taille du tuyau (mm)	Température du tuyau	Pertes de chaleur (W/m)
50,80	2 °C	1,80
101,60	2 °C	2,82
152,40	2 °C	3,81

#### Avec 1 p. cent d'humidité par volume

Taille du tuyau (mm)	Température du tuyau	Pertes de chaleur (W/m)
50,80	2 °C	3,80
101,60	2 °C	5,90
152,40	2 °C	7,92

Pour qu'un système de chauffage électrique fonctionne bien et maintienne les conduites à la température de calcul, l'isolant doit être appliqué sur place correctement, et scellé le long de tous les joints longitudinaux et toriques. De plus, il doit être protégé contre les intempéries.

**Protection contre les intempéries.** — Il n'est pas question ici des utilidors mais des techniques standards pour l'isolation des réseaux de canalisations situées au-dessous ou au-dessus du sol. On ne traite pas non plus des diverses techniques d'installation des canalisations (ou conduites).

Une protection efficace contre les intempéries peut empêcher la migration de l'eau dans l'isolant. C'est donc une composante essentielle d'un système fiable d'isolation thermique. Pour un isolant appliqué sur le terrain, les deux types de protection les plus couramment utilisés sont la gaine métallique et le chemisage de mastic.

Pour choisir la protection la plus appropriée, il faut considérer les facteurs suivants : 1) caractéristiques de résistance mécanique; 2) caractéristiques de stabilité chimique, dans des conditions normales et anormales; 3) sécurité et santé du personnel; 4) coût de l'installation.

Si une gaine métallique est utilisée, elle doit être lisse, avec des joints longitudinaux modifiés et formés en S. Les joints aux extrémités (joints toriques), doivent être scellés au moyen des colliers de serrage fournis avec le produit d'étanchéité (voir figure 1). Les gaines en métal ondulé ne sont pas conseillées en général, car il est alors très difficile d'obtenir des joints scellés (longitudinaux ou toriques). Un chemisage dont les deux parties à joindre se chevauchent ou sont raccordées sans un agent de scellement efficace ne constitue pas une barrière valable contre l'humidité.

Si on emploie une gaine en métal, le type de métal doit être soigneusement choisi en fonction de l'installation. La corrosion est un facteur important à considérer : dans un milieu hautement corrosif, on utilise souvent de l'aluminium au fini acrylique ou de l'acier inoxydable.

Les mastics vendus sur le marché sont nombreux et ils se classent généralement en deux catégories : matériau à base de bitume ou matériau à base de résine. Le matériau à base de bitume (matériau noir et épais, fait essentiellement de bourre inorganique et de bitume) doit être appliqué de façon à former une couche sèche de 0,3 à 0,6 cm, selon les instructions du fabricant. Le matériau à base de résine (émulsion d'acétate de polyvinyle, d'acrylique ou combinaison de ces produits) est généralement appliqué de façon à former une couche sèche,

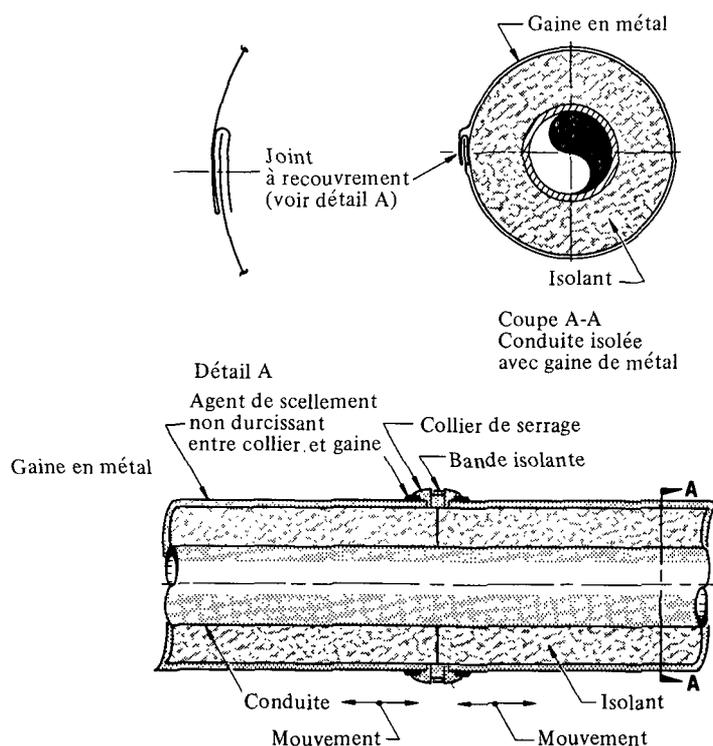


Figure 1 Conduite isolée avec gaine en métal

épaisse d'environ 0,16 cm. Quel que soit le type de mastic, il faut utiliser une toile extensible  $8 \times 8$  en guise de renfort. On préfère généralement se servir de matériaux à base de résine pour les réseaux de canalisations chauffées.

Le type de mastic doit être choisi de façon à convenir au mieux au système. La température d'installation et de service du mastic est une considération importante. Il existe, pour la plupart des mastics, une limite de température au-dessous de laquelle le produit se fissure et craque. On doit également tenir compte de la compatibilité chimique : si le mastic séché est attaqué par un produit chimique ou un solvant particuliers présents dans l'usine, sa fonction protectrice peut s'en trouver annihilée.

Pertes de chaleur (isolant sec) avec ou sans protection contre les intempéries. — Il arrive souvent que l'isolant installé à l'intérieur soit laissé à découvert. Les données du tableau 1 indiquent des différences considérables de pertes de chaleur en l'absence de toute protection contre les intempéries, même lorsque l'isolant est sec (installations à l'intérieur).

#### CONDITIONS DES ESSAIS

Tuyau : acier au carbone calibre 40, avec robinet-vanne bridé de 50 mm

Isolant : épaisseur 5 cm

Câble chauffant : Type à fil métallique résistant monté en parallèle

On a démontré que, lorsque toutes les conditions sont essentiellement les mêmes, la résistance thermique globale d'un réseau est augmentée de plus de 10 p. cent par l'adjonction d'une barrière de protection contre les intempéries.

Ces renseignements ont été recueillis à partir de deux réseaux identiques, fonctionnant sans commande de température. Il est clair que des économies plus importantes peuvent être réalisées avec une commande de température.

L'information se rapporte généralement à des canalisations installées au-dessus du sol et isolées sur place. L'utilisation d'un isolant thermique appliqué en usine, avec une protection intégrée, permet d'améliorer le système d'isolation et donc la conservation d'énergie.

Tableau 1

	Isolant sec sans protection, joints longitudinaux et toriques avec ciment conducteur thermique (mastic)	Gaine protectrice en aluminium avec protection contre les intempéries
Volts	207 V c.a.	205 V c.a.
Ampères	0,46	0,478
Puissance	20,7 W/m	21,3 W/m
Température ambiante	23,9 °C	23,9 °C
Température de service	74,5 °C	82,2 °C
$\Delta T$	32,8 °C	40,6 °C
Résistance thermique	79,03 W/(m·°C)	88,72 W/(m·°C)

Les canalisations souterraines sont généralement isolées à l'aide d'une mousse de polyuréthane rigide, ou de verre alvéolaire. Pour renforcer celui-ci, on applique par pulvérisation, au pinceau ou au gant, des couches successives d'un revêtement imperméable à l'eau, d'une épaisseur minimale de 0,3 cm, et une toile de renforcement imprégnée de goudron – avec un chevauchement d'au moins 7,6 cm aux joints à recouvrement, pour donner plus de résistance à ces endroits. On peut aussi utiliser une enveloppe de résine bitumeuse renforcée par un tissu de verre protégé par une pellicule de plastique.

Il est évident que des techniques spéciales sont mises au point pour les joints, les raccordements, etc., des systèmes d'isolation thermique. On peut se renseigner à ce sujet auprès des fabricants.

Du Pont du Canada a mis au point sous le nom de SLAIRCORE un système pré-isolé très fiable. Il est organisé ainsi : au centre se trouve une canalisation en polyéthylène à densité élevée SCLAIRPIPE, avec une enveloppe en mousse de polyuréthane rigide et une gaine en métal ou en plastique préfabriquées. Le système est équipé d'un câble chauffant à dégagement de chaleur constant par unité de longueur; ce câble est installé dans une gorge à l'extérieur de la canalisation.

**Calcul des pertes de chaleur.** – L'aménagement de canalisations souterraines dans les régions de pergélisol exige une extrême prudence. Les canalisations doivent être bien isolées et scellées. L'isolant doit être suffisamment épais pour que la température à la surface extérieure ne soit pas trop haute, ce qui pourrait endommager les structures avoisinantes ou nuire à l'équilibre de la nature.

Les concepteurs n'ont pas à "partir de zéro" pour chaque projet quand ils traitent des pertes de chaleur : des équations standards, universellement acceptées, existent pour ces calculs. La plupart des fabricants d'isolants et de systèmes de chauffage électrique disposent maintenant de programmes informatiques basés sur des équations provenant des travaux de McMillan, Langmuir, Stefan-Boltzman, Heilman et Rice, etc., et ils devraient pouvoir comparer les pertes calculées avec des données empiriques recueillies sur le terrain ou en laboratoire. Il existe aussi plusieurs excellentes études sur les pertes de chaleur souterraines, en général ou dans les zones de pergélisol de l'Arctique.

Pour concevoir correctement un système de chauffage électrique des canalisations, le fournisseur doit connaître toutes les caractéristiques de l'isolation thermique requise : type et épaisseur de l'isolant, protection de l'isolant (gaine en aluminium, en acier inoxydable ou en plastique, mastic et couleur de la surface), dimensions exactes de l'isolation (du diamètre des canalisations avec bandes découpées pour une isolation rigide des joints longitudinaux, plus grande que ce diamètre, enveloppe bien ajustée, ou moussage sur place). Il doit aussi disposer des brochures publiées par les fabricants d'isolants, pour en connaître les propriétés physiques et thermiques.

Avec ces renseignements, le fournisseur du système de chauffage électrique peut déterminer les pertes de chaleur en fonction des coefficients réels de convection, de conduction et de rayonnement. Ces coefficients varient considérablement avec la température, la vitesse du vent, ou la couleur, la rugosité et la forme de l'isolant. Il est donc essentiel que le fournisseur connaisse toutes les données qu'on peut obtenir sur l'isolant.

Souvent, les valeurs données par divers commerçants varient beaucoup : c'est que généralement les commerçants, prévoyant une installation peu soignée, font intervenir des "facteurs de sécurité". Le client doit donc s'assurer que le commerçant ne lui vendra pas un système de chauffage électrique comportant des facteurs de sécurité excessifs, qui serait coûteux en consommation d'énergie.

On donne ci-dessous les pertes de chaleur typiques pour des canalisations en surface de divers diamètres ayant un isolant en polyuréthane rigide.

#### CONDITIONS

La température au-dessus du sol est de  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; l'isolant est en polyuréthane rigide; le vent souffle à  $40,2\text{ km/h}$ ; le facteur de sécurité est de 10 p. cent.

Taille des tuyaux	Température des tuyaux	Pertes de chaleur
50,80 mm	4,44 °C	4,11 W/m
101,60 mm	4,44 °C	6,45 W/m
152,40 mm	4,44 °C	8,74 W/m

Si la température ambiante est de  $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$  :

Taille des tuyaux	Température des tuyaux	Pertes de chaleur
50,80 mm	4,44 °C	5,96 W/m
101,60 mm	4,44 °C	9,35 W/m
152,40 mm	4,44 °C	12,68 W/m

Les résultats ci-dessous, obtenus par ordinateur ont été compilés pour montrer que les pertes de chaleur des canalisations souterraines changent relativement peu avec la profondeur. Une valeur de K du sol relativement élevée a été utilisée ( $1,5\text{ Btu}\cdot\text{h}\cdot\text{pi}^2\cdot^{\circ}\text{F}$ ), avec des températures du sol de  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . L'analyse par ordinateur tenait également compte de la température à la surface extérieure de l'isolant.

#### CONDITIONS

La température souterraine est de  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; l'isolant est en polyuréthane rigide, épais de 5 cm; le facteur de sécurité est de 10 p. cent. La température de la canalisation doit être maintenue à  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Profondeur 60 cm

Taille des tuyaux	Surface extérieure Température de l'isolant	Pertes de chaleur
50,80 mm	$-21,77\text{ }^{\circ}\text{C}$	3,17 W/m
101,60 mm	$-21,77\text{ }^{\circ}\text{C}$	4,96 W/m
152,40 mm	$-21,77\text{ }^{\circ}\text{C}$	6,71 W/m

## Profondeur 90 cm

Taille des tuyaux	Surface extérieure Température de l'isolant	Pertes de chaleur
50,80 mm	-21,77 °C	3,16 W/m
101,60 mm	-21,77 °C	4,96 W/m
152,40 mm	-21,77 °C	6,67 W/m

## Profondeur 180 cm

Taille des tuyaux	Surface extérieure Température de l'isolant	Pertes de chaleur
50,80 mm	-21,77 °C	3,16 W/m
101,60 mm	-21,77 °C	4,90 W/m
152,40 mm	-21,77 °C	6,60 W/m

Imaginons maintenant que la température, à une profondeur de 180 cm, n'est pas de -23 °C mais de -12 °C.

## Profondeur 180 cm

Taille des tuyaux	Surface extérieure Température de l'isolant	Pertes de chaleur
50,80 mm	-11,35 °C	1,79 W/m
101,60 mm	-11,35 °C	2,79 W/m
152,40 mm	-10,49 °C	3,76 W/m

Dans tous les cas ci-dessus, un câble à puissance constante non-modulant de 2,5 W/pi devrait suffire.

**Épaisseur optimale de l'isolant.** – Il faut choisir avec soin l'épaisseur de l'isolant puisque l'isolant thermique est de première importance, non seulement pour la sûreté du chauffage des canalisations mais aussi pour la conservation générale d'énergie.

Tant que l'isolant est sec et bien protégé, le système de chauffage électrique peut être conçu de façon à maintenir la température désirée dans les canalisations, que l'isolant ait une épaisseur de 2,5 cm ou de 10,2 cm. Cependant, il est avantageux de déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant pour réduire les coûts et conserver l'énergie.

La détermination de "l'épaisseur économiquement optimale de l'isolant" n'est pas du ressort de la présente étude. Indiquons simplement qu'elle est définie comme la valeur annuelle minimale (somme) du coût de l'énergie (pertes de chaleur), plus le coût de l'isolation thermique, ou l'épaisseur d'isolant qui permet l'économie d'énergie la plus substantielle, en tenant compte de l'amortissement du coût de l'isolation thermique.

L.B. McMillan a publié en 1926 les premières équations servant à trouver l'épaisseur optimale des isolants thermiques. Ces formules ont rarement été utilisées à cause de leur complexité et à cause de tout le travail qu'exigent les nombreuses comparaisons. Grâce aux ordinateurs, apparus sur le marché vers la fin des années 50, on peut faire des études avec diagrammes pour trouver aisément l'épaisseur optimale d'un isolant.

Au cours des dernières années, diverses études sur les facteurs économiques de l'isolation thermique ont été rédigées. Citons entre autres un ouvrage récent : *Economics of Thermal Insulation Design for Pipes and*

*Equipment Above Ambient Temperature*, par William C. Turner et John F. Malloy (éditeur : Robert E. Keirger Publishing Co., Inc., 645 New York Ave., Huntington, N.Y. 11743 USA, (516) 271-5252). Cette étude utilise les unités britanniques et métriques.

### TYPES DE CÂBLES ET DE RUBANS CHAUFFANTS VENDUS

Il existe plusieurs systèmes de chauffage électrique pour pipelines. Les méthodes les plus couramment utilisées sont les suivantes : 1) câbles et rubans chauffants à résistances (montées en série ou en parallèle); 2) système SECT<sup>1</sup> (chauffage électrique par effet de surface); 3) chauffage par impédance; 4) chauffage par induction.

Les systèmes de chauffage à résistances en série ou en parallèle sont les plus utilisés pour la protection contre le gel et le maintien de la température de service.

**Câbles chauffants à résistances en série.** — Ces câbles chauffants utilisent divers alliages pour établir des valeurs déterminées de résistance et donc de puissance utile. Voici une représentation schématique d'un câble chauffant à résistance en série :



Figure 2 Schéma de câble chauffant à résistances en série

La puissance dissipée par le câble à résistances en série est constant, car il a un faible coefficient de résistance en fonction de la température. Il convient à tous les types de systèmes de surveillance et de commande.

**Câbles chauffants à fils métalliques résistants en parallèle.** — On peut les définir comme des ensembles d'éléments chauffants montés en parallèle, soit de façon continue, soit par zone. La puissance dissipée en watts du câble parallèle reste pratiquement inchangée, quelle que soit la longueur du câble. L'élément chauffant de ces câbles est généralement fait de nichrome ou d'un autre alliage résistant; ces câbles peuvent être représentés comme suit :

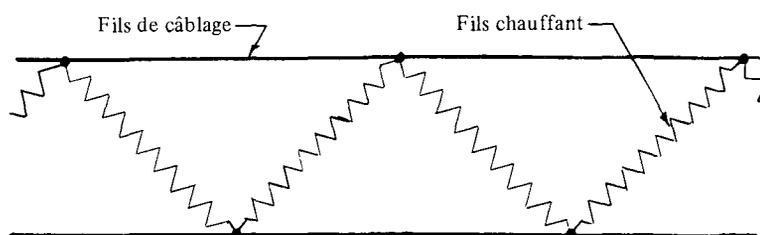


Figure 3 Schéma de câble chauffant à fils métalliques résistants montés en parallèle (chauffage par zone)

**Câbles à résistances au carbone en parallèle.** — Un deuxième type de câbles montés en parallèle est fait de carbone conducteur ou de graphite encastré dans une matrice pour former un noyau conducteur. Le noyau conducteur et le fil de câblage sont revêtus d'un isolant électrique. Le matériau conducteur est conçu de façon telle que la puissance dissipée est raisonnablement constante par unité de longueur pour la gamme de températures utilisées. Il existe en général plusieurs isolants électriques pour les câbles montés en parallèle disponibles sur le marché.

<sup>1</sup>SECT, marque déposée par Ricwil, Inc., Brecksville (Ohio).

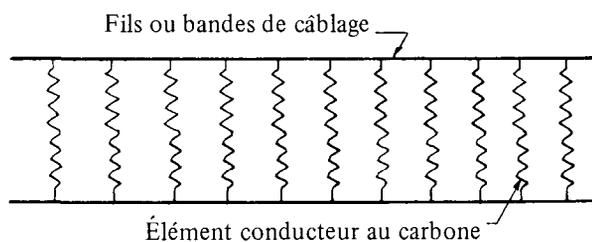


Figure 4 Câble chauffant à résistances au carbone en parallèle

**Câbles chauffants à matrice à résistance variable.** — Le troisième type de câbles parallèles comporte un noyau conducteur dont la résistance change considérablement avec la température du câble, ce qui a un effet de modulation. La puissance dissipée de ce câble ne change pas, quelle que soit la longueur du câble.

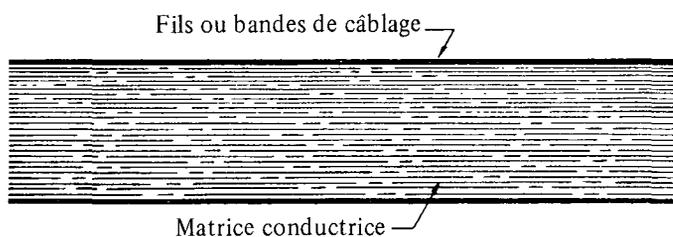


Figure 5 Câbles chauffants à matrice à résistance variable (à modulation)

## COMMANDES

Le circuit de commande dépend autant de la qualité de l'isolation thermique que le rendement du câble chauffant. La différence de température (entre la conduite et le milieu ambiant ou différence de température du fluide), est déterminée par la résolution du dispositif de commande, par les pertes de chaleur à travers l'isolant et par la puissance dissipée du câble chauffant. Le dispositif de commande doit régler, par diverses techniques d'analyses et de commutation, les températures des conduites, du réservoir ou de l'équipement en fonction de conditions variables (isolation thermique, milieu ambiant, produits transportés).

**Thermostats mécaniques.** — Les thermostats ont un domaine d'utilisation de  $-101\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $+816\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Leur fonctionnement est basé sur la dilatation d'un gaz, d'une vapeur ou d'un liquide dans une ampoule. Le fluide actionne un contact électrique par l'entremise d'un soufflet ou d'un dispositif du même genre. Ces appareils sont robustes et leur point de consigne facilement réajustable; par contre, leur précision et leur temps de réaction sont loin d'être parfaits. Le thermostat mécanique a un capteur court et encombrant qui se prête mal à un montage groupé ou sur panneaux.

**Appareils de commande électroniques.** — Il existe plusieurs variantes de la commande électronique à distance de la température, selon les différents types de capteurs, les méthodes de commutation, etc. Les dispositifs électroniques de commutation utilisent généralement l'un des trois types de capteurs suivants : 1) thermocouple; 2) capteur métallique (RTD) ou thermistor non métallique, dont la résistance varie avec la température; 3) rayonnement.

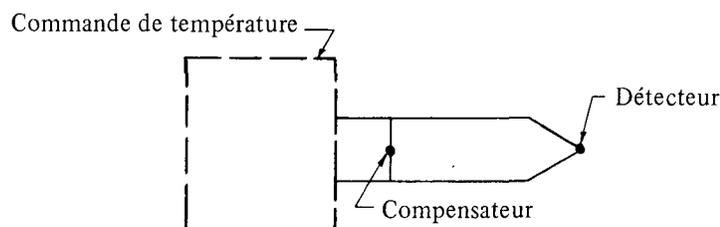


Figure 6 Composantes d'un thermocouple

**Couples thermoélectriques.** — Les thermocouples sont les capteurs les plus utilisés pour les systèmes électroniques. Ils sont robustes, très précis et peu coûteux. Un thermocouple a deux points de jonction sensible (détecteur) et une jonction de référence (témoin). Le dispositif électronique interprète la f.e.m. résultante des f.e.m. engendrées aux deux jonctions et compense la variation des conditions ambiantes à la jonction de référence.

Les thermocouples nécessitent une compensation pour les fils d'aménée laquelle, lorsqu'il s'agit d'un potentiomètre, se fait dans le circuit même de l'unité.

La lecture à distance ou sur place du thermocouple s'effectue facilement avec un millivoltmètre ou un potentiomètre.

## Types de câbles pour thermocouples

Type	Gamme de températures (°C)	Alliage
T	(-) 185 à (+) 260	Cuivre — Constantan
J	(-) 18 à (+) 760	Fer — Constantan
E	(-) 185 à (+) 871	Chromel — Constantan
K	(-) 18 à (+) 1 260	Chromel — Alumel
R	(-) 18 à (+) 1 482	Platine — Platine + 13 p. cent de rhodium
S	(-) 18 à (+) 1 482	Platine — Platine + 10 p. cent de rhodium

**Capteurs à résistance métallique.** — Ces capteurs à résistance sont faits de cuivre, de platine ou de nickel monté sur un isolant. Ils fonctionnent selon le principe que la résistivité des métaux change avec la température au lieu de produire une f.e.m. Le dispositif électronique utilisant un tel capteur doit donc fournir une petite f.e.m. qui est appliquée au pont de mesure. Le courant résultant de la débalance du pont passe dans un galvanomètre, lorsque la température change et la direction de sa déviation et son amplitude sont fonction de la température.

Le capteur à résistance métallique est très précis et très fiable. Il peut être fabriqué pour des températures allant jusqu'à 1 593 °C. Il est cependant plus fragile que le thermocouple et nécessite une manutention prudente.

**Capteurs à résistance non métallique.** — Les capteurs à résistance non métallique sont très précis, leur domaine d'utilisation s'étend de -10 °C à + 316 °C. Ces dispositifs semi-conducteurs ont généralement un coefficient négatif de température, c'est-à-dire que leur résistance diminue lorsque la température augmente. Le changement de résistance d'un thermistor est beaucoup plus grand que celui d'un capteur à résistance métallique : ce qui permet la détection des changements infimes de température et donc une commande beaucoup plus précise. Les thermistors peuvent être en oxyde de nickel, manganèse, cobalt, cuivre, fer, titane ou magnésium. Le changement de résistance du thermistor, là encore, débalance un pont de mesure et le voltage obtenu est amplifié pour indiquer à distance la température et contrôler le courant dans l'élément chauffant.

**Pyromètre à rayonnement ou pyromètre optique.** — Le pyromètre à rayonnement ou pyromètre optique permet lui aussi un contrôle à distance de la température. D'abord peu utilisé pour les canalisations des centrales électriques, ce dispositif sert de plus en plus à des fins de conservation de l'énergie, car il permet de détecter des quantités inhabituelles de flux thermique dans une zone déterminée. Le pyromètre à rayonnement ou pyromètre optique détermine la température d'un corps en mesurant le rayonnement émis, comparativement à un corps noir théorique. Le dispositif présente un désavantage majeur : on doit d'abord connaître le pouvoir émissif de la surface à mesurer.

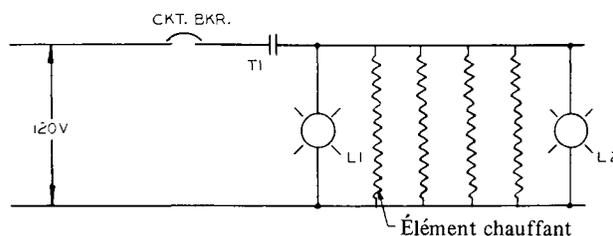
### SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ET D'ALARME POUR LES CÂBLES CHAUFFANTS

Les éléments chauffants du système électrique doivent faire l'objet d'une surveillance si on veut assurer un service constant. Plus les matières acheminées sont critiques, plus le système de surveillance est important. Dans l'industrie, on utilise couramment des lampes témoin, des ampèremètres, des relais d'intensité, des indicateurs directs de température, ou un système combinant plusieurs de ces dispositifs.

La partie alarme d'un système de surveillance a pour but d'avertir immédiatement le personnel d'exploitation en cas de problème. Les systèmes de surveillance ne sont pas tous munis d'alarmes automatiques; s'ils ne le sont pas, il faut périodiquement vérifier le bon fonctionnement du chauffage électrique.

La surveillance des éléments chauffants des câbles et rubans chauffants parallèles se limite généralement à contrôler l'état des fils ou des rubans de distribution. Les deux systèmes couramment utilisés sont les lampes témoin et les ampèremètres.

**Lampes témoin.** — On les utilise pour vérifier la tension appliquée et la continuité des fils ou des rubans de distribution.



- $L_1$  — petites ampoules incandescentes 120 V
- $L_2$  — petites ampoules incandescentes 120 V
- $T_1$  — contacts de thermostat pour le contrôle de la température du câble chauffant

Figure 7 Représentation schématique d'un système de surveillance par lampes-témoin

**Fonctionnement normal.** — À la figure 7, lorsque le voyant  $L_1$  est allumé, les contacts du thermostat  $T_1$  sont fermés et la tension est appliquée au circuit chauffant. Lorsque le voyant  $L_2$  est allumé, ceci indique que les fils de câblage sont intacts et que la tension est disponible sur toute la longueur du circuit.

**Situation critique.** — Lorsque le voyant  $L_1$  est allumé et le voyant  $L_2$  éteint, c'est l'indication qu'il n'y a probablement pas de tension à l'extrémité du circuit, l'un ou les deux fils de câblage étant ouverts. Il faut toujours vérifier que le voyant  $L_2$  fonctionne avant de vérifier le câble chauffant.

**Commentaires.** — Normalement seul le voyant  $L_2$  est utilisé à l'extrémité du circuit. Il doit être monté de façon à être visible pour le personnel d'exploitation. Pour les systèmes de protection contre le gel, le mieux est d'utiliser le voyant  $L_2$  conjointement avec un thermostat; dans ce cas, le voyant  $L_2$  doit être allumé lorsque la température ambiante descend au-dessous du point de réglage du thermostat, généralement 1,6 à 10 °C.

Dans le cas de thermostats pour canalisations individuelles, les voyants  $L_1$  et  $L_2$  doivent tous deux être utilisés. Si le voyant  $L_1$  n'est pas utilisé, il est difficile de déterminer si le voyant  $L_2$  est éteint, s'il est brûlé, si les contacts de thermostat sont ouverts, ou si le circuit de chauffage ne fonctionne pas.

Les voyants de contrôle pour plusieurs circuits de chauffage peuvent être montés sur un panneau dans un endroit central, si les circuits sont courts et toutes les sections froides des câbles de puissance proches les unes des autres. Raccorder des voyants à l'extrémité de chaque circuit peut être relativement coûteux.

**Ampèremètres pour câbles chauffants montés en parallèle.** — Les ampèremètres permettent de surveiller, de façon relativement simple et à bon marché, les câbles chauffants parallèles.

Choisir l'ampèremètre qui convient pour un circuit donné est la seule difficulté. Les appareils ayant une échelle de 0-10 ou de 10-20 ampères donnent satisfaction pour la majorité des applications. On peut brancher directement l'ampèremètre pour un courant de circuit allant jusqu'à 75 ampères; mais quand l'intensité dépasse 10 ampères, on se sert généralement d'un transformateur de courant.

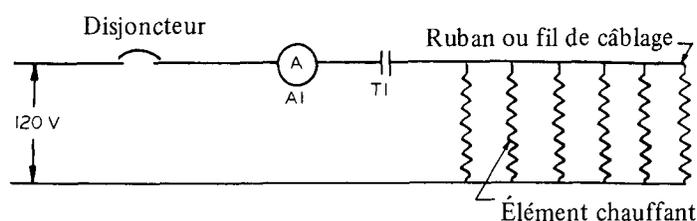


Figure 8 Surveillance par ampèremètres des câbles chauffants montés en parallèle

**Fonctionnement.** — Il faut surveiller le fonctionnement initial du circuit et comparer l'intensité du courant aux données fournies par le fabricant. À cause des variations de tension, les courants réels peuvent différer des données de conception. Il faut noter ces courants réels sur des relevés ou des diagrammes de charge et établir un repère sur l'ampèremètre pour indiquer le fonctionnement normal.

Si le câble à résistance en parallèle cesse totalement de fonctionner, l'ampèremètre l'indique. Cependant, si une partie ou un segment du câble parallèle est défectueux, la chute résultante de l'ampérage peut être presque impossible à détecter. Une interprétation de la température ambiante et de l'état de l'équipement est nécessaire pour déterminer le courant approprié dans le cas des câbles de modulation. Les intensités de courant type pour les câbles à fils métalliques résistants montés en parallèle sont les suivants :

	W/m	A/m @ 115 V c.a.
Câble parallèle	@ 1,22	0,0107
(construction par zone)	0,76	0,0067
	2,44	0,0213

**Commentaires.** — Pour la surveillance des câbles à résistance en parallèle, l'utilisation d'un ampèremètre revient généralement moins cher que celle de voyants, qui indiquent uniquement la présence d'une tension. Les ampèremètres peuvent être groupés sur les portes des panneaux d'alimentation, ou dans les enceintes de thermostat si le thermostat est adjacent à la tuyauterie ou à l'équipement.

Les ampèremètres n'ont pas une échelle linéaire. Pour pouvoir les lire avec suffisamment de précision, il faut les choisir de façon que, en fonctionnement, le courant normal des éléments chauffants amène leur aiguille aussi près que possible du milieu du cadran.

### CONCEPTION D'UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE FIABLE

Le chauffage électrique relève de deux domaines distincts puisqu'il implique à la fois l'électricité et le transfert de chaleur. C'est avec le plus grand soin qu'on doit concevoir les composantes impliquant des considérations énergétiques et les matériaux doivent être choisis en fonction de la performance visée.

**Données nécessaires à la conception.** — Les renseignements ci-dessous sont des plus importants pour la conception d'un système de chauffage électrique :

- 1) diamètre et longueur des tuyaux, épaisseur des parois;
- 2) matériaux des conduites : c.-à-d. : acier au carbone, aluminium, plastique, etc.;
- 3) nombre et type de valves le long de la conduite;
- 4) type de joints des tuyaux : bridés, visés ou soudés;
- 5) type et épaisseur de l'isolation thermique;
- 6) emplacement : à l'intérieur ou à l'extérieur, sous terre dans une zone de pergélisol, etc.;
- 7) température ambiante minimale prévue : température au-dessous du sol, conductivité thermique du sol et autres données pertinentes;
- 8) température d'exploitation à maintenir;
- 9) tension électrique, 480 V, 240 V, 120 V et autres;
- 10) classification du système électrique : danger, sans danger, etc.,
- 11) température minimale à laquelle le produit transporté peut être manipulé;
- 12) température maximale à laquelle le point peut être chauffé sans dommage;
- 13) température maximale à laquelle le produit peut pénétrer dans la canalisation chauffée;
- 14) diagrammes de débit à utiliser pour déterminer quelles sections de canalisations peuvent être groupées pour le chauffage en utilisant un seul thermostat.

Le concepteur doit également savoir si un système de dégel des canalisations est nécessaire ou non. Si oui, il devra obtenir l'information suivante :

- 15) poids volumique du produit;
- 16) chaleur spécifique du produit;
- 17) chaleur de fusion;
- 18) temps maximal pendant lequel on peut chauffer les canalisations en supposant les pires conditions;
- 19) caractéristiques de l'isolation.

Les mêmes renseignements sont nécessaires pour le chauffage des réservoirs et pour l'équipement des stations de traitement.

### UTILISATION DES DONNÉES DE CONCEPTION

- 1) La taille des canalisations (ou conduites) sert à déterminer les pertes de chaleur, le volume du produit acheminé, la masse de la canalisation à chauffer, etc.
- 2) Le type de joints influe sur la longueur des éléments chauffants et sur les instructions de chauffage relatives aux joints et aux supports.
- 3) Le matériau utilisé pour les conduites influe sur la distribution de la chaleur, sur la charge maximale autorisée et sur le nombre de watts par mètre des éléments chauffants. Une répartition inadéquate de la chaleur peut entraîner un gauchissement des conduites, puis des fuites si les conduites sont constituées ou doublées de plastique.
- 4) Les robinets, les pompes et les autres surfaces irrégulières nécessitent en général un traitement spécial. Des systèmes de chauffage et des dispositifs de commande spéciaux sont parfois nécessaires pour les produits ayant une tolérance de température étroite.
- 5) L'emplacement des tuyaux est de première importance pour ce qui est des pertes de chaleur. Il est généralement préférable de prévoir des commandes et des systèmes de chauffage séparés pour les sections de conduites intérieures et extérieures — de même que pour les sections au-dessus et au-dessous du sol, celles qui traversent des digues, des routes, etc.
- 6) Les pertes de chaleur sont fonction du type et de l'épaisseur de l'isolant. On a besoin de toutes les données sur l'isolant (dont la conductivité thermique à diverses températures moyennes), pour déterminer les pertes de chaleur réelles dans des conditions données. Le concepteur doit connaître toutes les propriétés physiques et thermiques de l'isolant, ainsi que les propriétés du ciment de transfert de chaleur ou de la gaine protectrice.

- 7) La tension disponible permet de déterminer le choix des dispositifs de chauffage. Il en existe pour des tensions allant jusqu'à 600 volts.
- 8) La classification du système électrique a une influence considérable sur le coût du système. Une zone de Classe 1, Groupe 2, Division 2 (zones de stockage du pétrole) nécessite des enceintes à l'épreuve des explosions pour tous les dispositifs provoquant des arcs électriques. Une homologation par la province ou par l'ACNOR peut être nécessaire.

**Diagrammes de débit.** — Dans certains cas, le concepteur peut avoir besoin d'étudier les diagrammes de débit pour déterminer le tracé du circuit de chauffage.

**Variation de la température ambiante.** — Les pertes de chaleur d'une conduite ne sont pas seulement fonction de la surface de la conduite, du type et de l'épaisseur de l'isolant, de la vitesse du vent, etc., mais aussi de la température ambiante. Un circuit séparé peut être nécessaire lorsqu'une conduite passe d'un milieu à un autre dont la température ambiante est différente (conduite souterraine qui émerge au-dessus du sol, puis entre dans une station par exemple).

**Pertes de chaleur au niveau des supports de canalisations**<sup>1</sup>. — Quand l'isolant est posé sur place, les supports ne pouvant être isolés correctement posent parfois des problèmes très complexes. Cependant, les variables déterminant la quantité de flux thermique se limitent à quelques données représentatives des pires conditions : vents violents, pluie ou grésil, température ambiante minimale, support de grande surface, etc.

L'une des formules appliquées pour exprimer le débit de chaleur dans ces conditions s'énonce comme suit :

$$Q = \sqrt{PhkA} \quad (T_p - T_a)$$

- Les variables sont :
- Q = pertes de chaleur en Btu/h
  - P = périmètre (du support de la conduite, en pi)
  - h = coefficient de convection du transfert de chaleur en Btu/h·pi<sup>2</sup>·°F; cette valeur peut aller de 1,5 à 6 selon la vitesse du vent et la superficie du support
  - k = conductivité thermique du matériau du support : Btu·pi/h·pi<sup>2</sup>·°F
  - A = aire où passe la chaleur dans la partie du support qui est reliée au tuyau : pi<sup>2</sup>.
  - T<sub>p</sub>-T<sub>a</sub> = différence entre la température de service de la canalisation et la température ambiante : °F; on prend pour hypothèse que la différence maximale de température indique que le support est suffisamment long pour qu'en un certain point sa température soit égale à la température ambiante.
  - P = 0,26 pi
  - A = 0,00545 pi<sup>2</sup>,
  - k = 10 Btu·pi/h·pi<sup>2</sup>·°F
  - h = 6 (condition la pire quant à la vitesse du vent)

La solution du problème énoncé ci-dessus est :

$$Q = \sqrt{0,26 \times 10 \times 0,00545} \quad [40 - (-20)]$$

$$Q = 0,29 \times 60 = 17,4 \text{ Btu/h}$$

$$Q = 5 \text{ W/h}$$

**Exemples de calcul.** — Les exemples suivants représentent quelques situations types qui sont susceptibles de poser des problèmes, particulièrement dans le Nord. Supposons réunies les conditions décrites ci-dessous.

Protection contre le gel d'une conduite d'eau : 5 °C, 41 °F

Densité de l'eau : 62,4 lb/pi<sup>3</sup>

Chaleur spécifique de l'eau : 1 Btu/lb·°F

<sup>1</sup> Texte reproduit tel qu'il a été présenté par l'auteur, avec des unités anglaises. Facteurs de conversion nécessaires :

$$\text{Btu/h} = 0,293 \text{ W}$$

$$\text{Btu/h} \cdot \text{pi}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 5,678 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{Btu} \cdot \text{pi}/\text{h} \cdot \text{pi}^2 \cdot ^\circ\text{F} = 1,731 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

## Caractéristiques de la conduite :

Matériau	polyéthylène à densité élevée
Taille de la conduite	4 po
Diamètre extérieur moyen	4,5 po
Épaisseur minimale des parois	0,217 po
Densité	59,31 lb/pi <sup>3</sup>
Chaleur spécifique	0,55 Btu/lb·°F
Conductivité thermique	0,21 Btu·pi/h·pi <sup>2</sup> ·°F

## Caractéristiques de l'isolation thermique :

Matériau	mousse de polyuréthane rigide
Épaisseur réelle	2,31 po
Densité moyenne	3 lb/pi <sup>3</sup>
Conductivité thermique	0,012 Btu·pi/h·pi <sup>2</sup> ·°F
Revêtement extérieur	0,010 po de mastic butyle 0,45 po de polyéthylène à densité moyenne
Chaleur spécifique	0,4 Btu/lb·°F

## Caractéristiques du capteur : à réservoir thermométrique et soufflets, marche @ 35 °F et arrêt @ 45 °F

Température ambiante	- 20 °F
Vitesse du vent	25 mi/h

## EXEMPLE 1

Dans le cas d'une panne de courant, pendant combien de temps l'alimentation en eau se poursuivra-t-elle avant que le système n'atteigne le point de congélation? Les termes des équations sont exprimés uniquement en unités anglaises puisque nous faisons le calcul du temps (en heures).

## Équation 1

Chute de la température d'une conduite dans laquelle l'eau ne circule pas, sans addition de chaleur :

$$T_2 - T_a = (T_1 - T_a) e^{-\frac{T}{H}}$$

$$H = \frac{W_1 S_1 + W_2 S_2 + MW_3 S_3}{C_i}$$

$T_a$  = température ambiante (°F),

$T_1$  = température initiale (°F),

$T_2$  = température après X heures sans chauffage (°F),

$T$  = temps sans addition de chaleur (heures),

$H$  = constante de temps (heures),

$W_1$  = masse du produit par pied de conduite (lb/pi),

$S_1$  = chaleur spécifique du produit (lb/pi),

$W_2$  = masse de la conduite par pied (lb/pi),

$S_2$  = chaleur spécifique de la conduite (Btu/lb·°F),

$MW_3 S_3$  = capacité thermique de l'isolant par pied (Btu/pi·°F),

$C_i$  = conductibilité de l'isolant (Btu/pi·h·°F)

Pour ce système,  $MW_3 S_3 = 0,34 \times 3 \times 0,40 = 0,41$  Btu/pi·°F. Pour le même système  $C_i = 0,103$  Btu/pi·h·°F, d'après une analyse par ordinateur avec un facteur de sécurité de 10 p. cent.

$$H = \frac{(5,28)(1) + (1,52)(0,55) + (0,41)}{0,103} = 63,4 \text{ h}$$

$$T_2 - 32 = (45^\circ\text{F} - 32) e^{-\frac{T}{63,4}}$$

Si  $T = 12$  h

$$T_2 - (-20) = [45 - (-20)] e^{-\frac{12}{63,4}}$$

$$T_2 - (-20) = 65 e^{-0,189}$$

$$T_2 = (65 \times 0,83) - 20$$

$$T_2 = 54 - 20 = 34^\circ\text{F}$$

Si  $T = 14$  h

$$T_2 - (-20) = [45 - (-20)] e^{-\frac{14}{63,4}}$$

$$T_2 - (-20) = 65 e^{-0,22}$$

$$T_2 = (65 \times 0,80) - 20$$

$$T_2 = 52 - 20 = 32^\circ\text{F}$$

#### EXEMPLE 2

Temps nécessaire pour chauffer le produit (eau), s'il n'y a pas circulation du produit, en fonction de la chaleur de fusion. On présume que le courant est coupé suffisamment longtemps pour que la température de l'eau tombe à  $+10^\circ\text{F}$ .

Équation 2

$$T = H \ln \frac{q - C_i (T_1 - T_a)}{q - C_i (T_2 - T_a)} + \frac{W_1 F}{q - C_i (T_m - T_a)}$$

où  $q = \text{Btu}/\pi$  (câble chauffant)

$T_m =$  température de fusion du produit ( $^\circ\text{F}$ ),

$F =$  chaleur de fusion = 144 Btu/lb.

L'exemple précédent indiquait :

$C_i = 0,103 \text{ Btu}/\pi \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}$  donc, taux de déperdition de chaleur =  $C_i \times T$

$q$  (pertes réelles) =  $0,103 \times [(40 - (-20))] = 6,8 \text{ Btu}/\pi$ .

Si l'on prend pour hypothèse que le fabricant du câble chauffant a fourni un réchauffeur de  $2,5 \text{ W}/\pi$ , la puissance de sortie est de  $2,5 \times 3,415 = 8,538 \text{ Btu}/\pi \cdot \text{h}$ . Ainsi :

$$T = 63,4 \ln \frac{8,538 - 0,103 [10 - (-20)]}{8,538 - 0,103 [33 - (-20)]} + \frac{5,28 \times 144}{8,538 - 0,130 [32 - (-20)]}$$

$$T = 63,4 \times \ln 0,566 + 1,733$$

$$T = 63,4 \times 0,569 + 1,733 = 37,80 \text{ h}$$

Les essais montrent qu'un câble chauffant à puissance constante non-modulant fonctionne plus économiquement que les autres câbles chauffants parallèles, et qu'il permet de concevoir un système dont le comportement est plus prévisible. Ce dernier élément est très important pour les régions du Nord, il permet de prévoir un scénario de dégel pour le cas où les conduites atteindraient le point de congélation à la suite d'une panne de courant.

### CONCLUSION

Doter un réseau de conduite d'un isolant thermique bien scellé et économique, d'un système de surveillance sûr et d'un câble chauffant qui répond adéquatement aux besoins de l'installation, cela permet de conserver l'énergie et d'économiser l'argent des usagers.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Irwin, P.E., R.K. Pitzer et B.C. Johnson, *A Discussion of the Control, Monitoring and Alarm Systems Used With Electric Heat Tracing In Today's Power Plants*, document PG 75 629-6 présenté au Joint IEEE/ASME/ASCE Power Generation Technical Conference, Portland, Oregon, 28 sept. - 1 oct. 1975.
- Irwin, P.E., R.K. Pitzer et B.C. Johnson, *Design, Installation and Maintenance of Electrical Heat Tracing Systems*, présenté au MEXICON '76 International Conference and Exhibits on the Electronic Engineering, Mexico, Mexique, 7-10 juillet 1976.
- Irwin, P.E., R.K. Pitzer et B.C. Johnson, *Design Considerations For A Reliable Electrical Pipeline Heat Tracing System For Power Plants*, document A 76 627-0 présenté au Joint IEE/ASME/ASCE Power Generation Conference, Buffalo, N.Y., 19-23 sept. 1976.
- Malloy, J.F., *Thermal Insulation*, Von Nostrand Reinhold Company, New York, 1969.
- Barton, R.N., *Thermal Transfer Calculation Methods for Insulated Underground Piping Systems and Comparisons of Results*, présenté à la Thermal Insulation Conference, Tampa, Floride, 22-29 octobre 1978.
- Cameron, J.J., *Shallow Buried Utilities in Cold Regions, Preliminary Report on the Faro, Y.T. Utility Extension Study Site*, Technical Branch, Environmental Protection Service Department of the Environment Northwest Region, Edmonton, Alberta, 1975.

## SIXIÈME SÉANCE CHAUFFAGE ET DÉGEL DES CONDUITES

### DÉGEL DES CANALISATIONS D'EAU

Ross Currey  
Western Water and Sewer Supplies (1978) Ltd.  
Edmonton (Alberta)

#### DOMAINE D'APPLICATION

Pendant les longs mois d'hiver, le personnel d'exploitation des services municipaux peut avoir à dégeler les canalisations de branchement et même dans certains cas les conduites maîtresses.

D'après les critères courants de conception, tous les services utilitaires doivent être installés en dessous du niveau normal de gel. Les travaux ultérieurs de terrassement, d'excavation de chaussées et la construction de trottoirs sont la cause de gels imprévus par suite du manque de couverture du sol.

Le type de sol, l'état de sa couverture végétale, l'enneigement et la teneur en humidité varient énormément à travers le pays. Tous ces facteurs contribuent au gel des canalisations de branchement aux endroits les plus imprévus. Si le gel pénètre le sol dans la zone de la tuyauterie, si la température de l'eau descend au-dessous de 0 °C et si la vitesse d'écoulement est nulle, il y a formation de cristaux de glace et le gel s'ensuit.

Nous savons pourquoi la canalisation a gelé mais la question est de savoir où. Le point le plus haut de la canalisation est vulnérable: il s'agit soit du col de cygne de la conduite maîtresse, soit de l'endroit où le branchement pénètre dans le bâtiment. Il est très important de repérer la zone gelée afin qu'un système de protection supplémentaire puisse être installé pour éviter que la situation se reproduise.

À cet égard, on pourra prendre les précautions suivantes: 1) abaisser le niveau des canalisations de branchement; 2) isoler la conduite dans la tranchée; 3) augmenter la couverture du sol dans la région; 4) modifier la configuration de la circulation d'eau si elle est la cause du gel; 5) si tout cela n'a pas d'effet, installer un robinet d'écoulement continu sur la canalisation.

Le consommateur raisonne ainsi: "Je paie pour l'eau et j'en ai besoin tout de suite." En tant qu'employé d'un service public, vous devez faire de votre mieux pour satisfaire à sa demande. Le dégel des canalisations a toujours été effectué aux frais de l'entreprise de travaux publics. Cependant, si l'on parvient à localiser la source du problème, les responsabilités peuvent être établies et les frais répartis en conséquence.

Deux techniques agréées pour le dégel des canalisations (ou conduites) sont utilisées de nos jours:

- 1) Dégel électrique: utilisation d'un courant électrique pour le dégel des canalisations de branchement.
- 2) Tubes de dégel; on se sert d'une sonde pour injecter de l'eau chaude dans la zone problématique.

#### DÉGEL ÉLECTRIQUE

On utilise une machine à souder à essence comme source d'énergie électrique. L'un des câbles est relié au fil de dégel sur le robinet de prise de la conduite maîtresse, et l'autre au raccordement du compteur d'eau dans le bâtiment. La canalisation est dégelée en faisant passer un courant de 200-300 ampères, sous une tension de 10 à 40 volts, pendant quelques minutes. Cette technique est appliquée pour les conduites d'eau en amiante-ciment avec canalisations de branchement en cuivre. Les conditions varient selon le type de tuyau utilisé pour les conduites maîtresses et les canalisations de branchement. Dans le cas de conduites principales en fonte et de canalisations de desserte en cuivre, la méthode courante consiste à raccorder la machine à souder de maison en maison pour obtenir ainsi un circuit électrique complet.

Le dégel à l'électricité doit obligatoirement être fait par des opérateurs qui connaissent les dangers liés aux courants électriques parasites. Très peu de gens ont conscience des centaines de milliers de dollars dépensés chaque année pour régler les indemnités réclamées par suite de dégâts dus au dégel à l'électricité.

#### TUBES DE DÉGEL

Toutes les canalisations de desserte peuvent être dégelées avec une sonde d'eau chaude, quel que soit le type de conduite principale. Il existe un appareil moderne qui produit un jet d'eau chaude pulsé pouvant être

pompé à travers un tube de 6,4 mm fixé au tuyau gelé au moyen d'un raccord spécial facilitant l'installation et réduisant les risques de débordement. Les sous-sols des maisons modernes étant aménagés, on ne peut pas se permettre de prendre des risques avec des pressions d'eau allant jusqu'à 550 kPa. On doit pouvoir contrôler ces pressions pour éviter des inondations et des dégâts importants. Les tubes de dégel sont bien meilleur marché, faciles à manipuler et ne présentent aucun risque d'incendie. Dans certains cas, une accumulation de substances minérales ou des coudes prononcés peuvent gêner le passage de la sonde, mais l'expérience nous montre que cette méthode est encore la meilleure façon d'agir.

Le dégel par l'eau chaude est préférable au dégel électrique pour les raisons suivantes: 1) le coût initial de l'unité de pompage (figure 1) est très inférieur à celui d'une machine à souder; 2) tous les types de canalisations (ou conduites) peuvent être dégelés au moyen de tubes de dégel; 3) pas de temps perdu à attendre sur le chantier l'arrivée de l'équipement loué; 4) possibilité de localiser la zone de gel, de manière à ce que les frais puissent être facturés au responsable, plutôt que de les compter comme frais généraux; 5) économie de main-d'oeuvre et de temps.

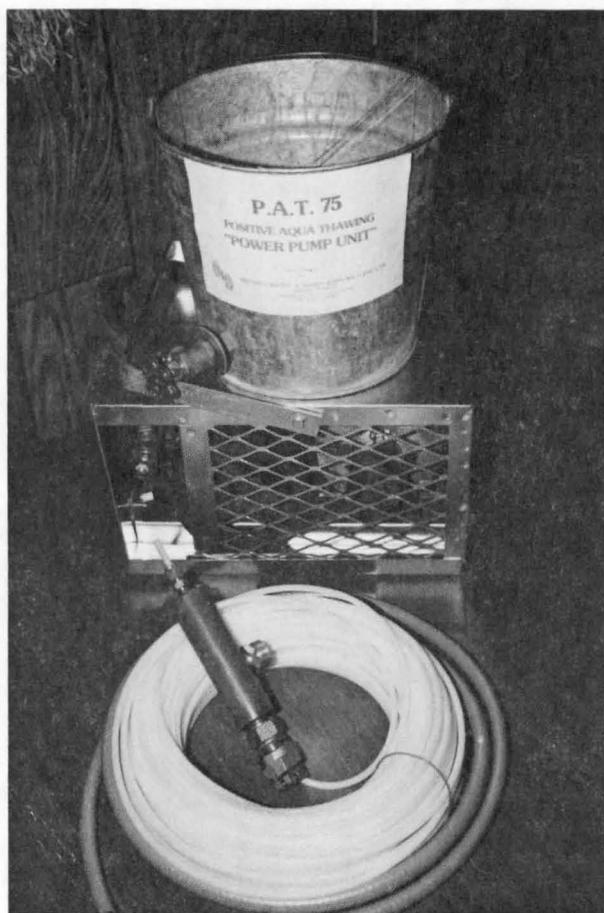


Figure 1 Unité de pompage P.A.T. 75 : dégel à l'eau chaude

Le but du colloque est d'aider les concepteurs à créer des systèmes plus efficaces et plus économiques pour le Nord. Les pratiques actuelles de conception pour le Nord préconisent l'utilisation de tuyaux pré-isolés en plastique pour les conduites maîtresses; les matériaux plastiques ne permettant pas le passage du courant, le dégel par résistance électrique est exclu. Cependant, ce sont les canalisations de desserte des bâtiments qui sont les plus vulnérables au gel. Là encore, on utilise des ensembles de tuyaux pré-isolés, soit des tuyaux en cuivre enfermés dans une conduite d'amenée soit carrément des tuyaux de desserte en plastique. Lors du dégel à l'électricité de canalisations de branchement en cuivre protégées par une mousse isolante et un conduit en plastique, il faut procéder avec beaucoup de prudence.

Divers types de rubans chauffants sont incorporés aux systèmes auxiliaires courants, mais le réseau gèlera s'il y a une panne d'électricité ou si le ruban surchauffe et grille.

Les pratiques de conception pour le Nord devraient appliquer les règles suivantes, qui valent pour toutes les canalisations et permettent d'utiliser un système de secours bon marché fabriqué à partir des matériaux existants:

- 1) les canalisations d'eau doivent être installées avec des coudes à 45° et non pas des coudes à 90°;
- 2) l'utilisation des raccords de compression est obligatoire;
- 3) les branchements d'eau au niveau de la conduite maîtresse doivent être à la position 3 ou 7 du cadran horaire;
- 4) toute la robinetterie des canalisations de branchement doit permettre l'écoulement direct (soupapes à boulet ou robinets-vannes);
- 5) un point d'accès direct à la conduite d'amenée doit être aménagé.

L'observation rigoureuse des points mentionnés ci-dessus au cours de la conception et de la construction permettra d'utiliser une unité de pompage P.A.T. 75, comme système auxiliaire de dégel à l'eau chaude, pour moins de mille dollars.

SEPTIÈME SÉANCE  
APPLICATIONS INFORMATIQUES

EMPLOI D'UN MODÈLE GÉOTHERMIQUE  
POUR LES PROJETS DE GÉNIE CIVIL DANS LE NORD

D. Kent et C.T. Hwang  
EBA Engineering Consultants Ltd.

**INTRODUCTION**

Au cours de la conception des projets de génie civil dans le Nord, il faut, entre autres, déterminer l'effet qu'auront les installations sur le régime thermique du sol. Ce qui préoccupe particulièrement les concepteurs est le degré de dégel autour d'une installation construite dans le pergélisol, ou la profondeur de pénétration du gel autour des installations construites dans les régions sans pergélisol. Pour les réseaux installés à faible profondeur, le concepteur doit connaître la température du sol autour de la tuyauterie afin de pouvoir prendre les dispositions nécessaires pour empêcher le gel des tuyaux.

Selon leur nature, les problèmes géothermiques sont soit permanents, soit transitoires. On peut résoudre les problèmes géothermiques permanents au moyen d'équations de flux de chaleur linéaires, tandis que les problèmes permanents bidimensionnels peuvent être résolus au moyen de techniques graphiques (Brown 1963, Jumikis 1978).

Les solutions transitoires unidimensionnelles normales pour le gel et le dégel des sols sont essentiellement des extensions des solutions de Stephan et de Neumann (Carslaw et Jaeger, 1947). Dans les solutions analytiques, la condition limite de la surface du sol est généralement représentée par une température moyenne à la surface, dérivée de la température mensuelle moyenne de l'air. On tient compte des diverses conditions du sol telles que le type de végétation et la couverture nivale, en multipliant la température moyenne à la surface par des valeurs "n" semi-empiriques (U.S. Department of the Army, 1966), qui ont été élaborées à partir de corrélations avec les observations sur le terrain.

Il existe des solutions transitoires bidimensionnelles pour certains cas précis. Tsytoich (1975) a présenté une solution analytique permettant de calculer l'étendue de la cuvette de dégel sous les immeubles chauffés, en fonction du temps. Thornton (1976) et Hwang (1977) ont présenté des méthodes permettant de prévoir la pénétration du gel et du dégel autour des conduites souterraines.

Dans les cas où la perturbation thermique est importante par rapport à la variation de la température à la surface du sol, les conditions de régime permanent seront vite atteintes; une simple analyse thermique du régime permanent suffit donc. Dans les cas où la variation de la température à la surface du sol a un effet dominant, pour les conduites souterraines par exemple, des solutions transitoires sont nécessaires. Chacune des solutions analytiques communes exige une certaine simplification du problème en ce qui concerne les conditions géométriques et stratigraphiques, ainsi que les conditions limites de la surface du sol. Consciente de ces limitations, EBA Engineering Consultants Limited a mis au point, en 1971, un modèle géothermique informatisé pour l'étude des possibilités réelles des projets de pipelines dans le Nord. Ce modèle informatique sera mis à la disposition des services publics en 1979; le moment semble donc propice pour décrire le modèle et en considérer l'application aux projets de génie civil dans le Nord.

Le présent article décrit le modèle géothermique ainsi que la vérification à laquelle on l'a soumis. On présente également la méthodologie d'une analyse thermique ainsi que des descriptions de cas. Les techniques relatives à l'entrée des données seront discutées dans la documentation du programme, que l'on pourra se procurer auprès de la compagnie chargée de fournir les services informatiques.

**MODÈLE GÉOTHERMIQUE**

Le modèle géothermique a été mis au point pour prévoir la réaction thermique du sol à des changements se produisant dans le milieu thermique. Ces changements peuvent résulter d'un pipeline refroidi ou chauffé, de la construction d'un immeuble, de travaux de remblai ou tout simplement de l'altération des propriétés du sol en surface.

Le modèle géothermique est un programme informatique comprenant les codes suivants:

- 1) un code de conduction thermique, avec une formulation, à base d'éléments finis, du mécanisme de conduction transitoire de la chaleur pendant le gel et le dégel;
- 2) un code de transfert de la chaleur à la surface du sol, simulant les échanges de chaleur en fonction de données météorologiques.

**Code de conduction thermique.** — Le code de conduction thermique utilise des techniques à base d'éléments finis pour résoudre le problème du flux de chaleur transitoire. La technique à base d'éléments finis a déjà fait l'objet d'un examen en profondeur (Hwang et coll., 1972) et nous n'en discuterons pas en détail ici. En bref, elle revient à sous-diviser la section transversale et à l'analyser en de nombreux petits éléments triangulaires. Les équations du flux de chaleur peuvent être déterminées pour chaque élément en fonction de sa géométrie, de ses propriétés thermiques et de ses températures nodales. Le code de conduction fournit alors une solution pour toutes les températures nodales de chaque ensemble donné de conditions limites. Puisque la nature des conditions du flux de chaleur est transitoire, la solution des températures nodales est répétée à des intervalles de temps discrets.

Le flux de chaleur à travers le sol est un phénomène complexe mettant en jeu divers mécanismes tels la conduction, la convection, le rayonnement et le déplacement de l'humidité. Pour simplifier le problème, on adoptera un modèle de conduction simple avec une conductivité thermique caractéristique équivalente.

On tient compte de la chaleur latente de gel et de dégel de l'eau dans le sol, en considérant cette chaleur comme une source de chaleur dans l'équation du bilan d'énergie. Il est bien connu (Williams, 1972) que, dans un sol à granulométrie fine, toute l'humidité ne change pas de phase à la même température. Dans le code de conduction thermique, on a pris des mesures pour permettre que le changement de phase ait lieu sur toute une gamme de températures.

**Code de transfert de chaleur à la surface du sol.** — La condition limite critique dans le cadre d'un problème géothermique est l'échange de chaleur à la surface du sol. Le flux de chaleur net à ce niveau résulte de la somme des éléments suivants:

- a) rayonnement net à ondes longues;
- b) rayonnement net à ondes courtes (solaire);
- c) flux net de chaleur par convection;
- d) évapotranspiration.

La figure 1 présente graphiquement les composantes du flux de chaleur à la surface du sol. Les relations constitutives que décrivent chacune de ces composantes ont été décrites par Hwang (1976). Les données du site nécessaires pour déterminer les composantes du régime thermique du sol sont les suivantes:

Données météorologiques:

- a) température mensuelle moyenne de l'air;
- b) vitesse mensuelle moyenne du vent;
- c) enneigement mensuel;
- d) rayonnement solaire mensuel.

Données concernant la surface du sol:

- a) émissivité en surface (rayonnement à ondes longues),
- b) albédo (rayonnement à ondes courtes),
- c) évapotranspiration, et
- d) degré d'ombre.

Le code d'échange de chaleur à la surface du sol calcule le flux de chaleur net dans le sol pendant chaque intervalle de temps. Ce flux de chaleur est alors appliqué, en tant que condition limite, dans le cadre du code de conduction de chaleur.

**Vérification du modèle géothermique.** — La précision du code de conduction thermique a été vérifiée par comparaison avec des solutions analytiques de cas géométriques simples. (voir la figure 2). On a réussi à obtenir une excellente concordance entre le code de conduction thermique et les solutions analytiques.

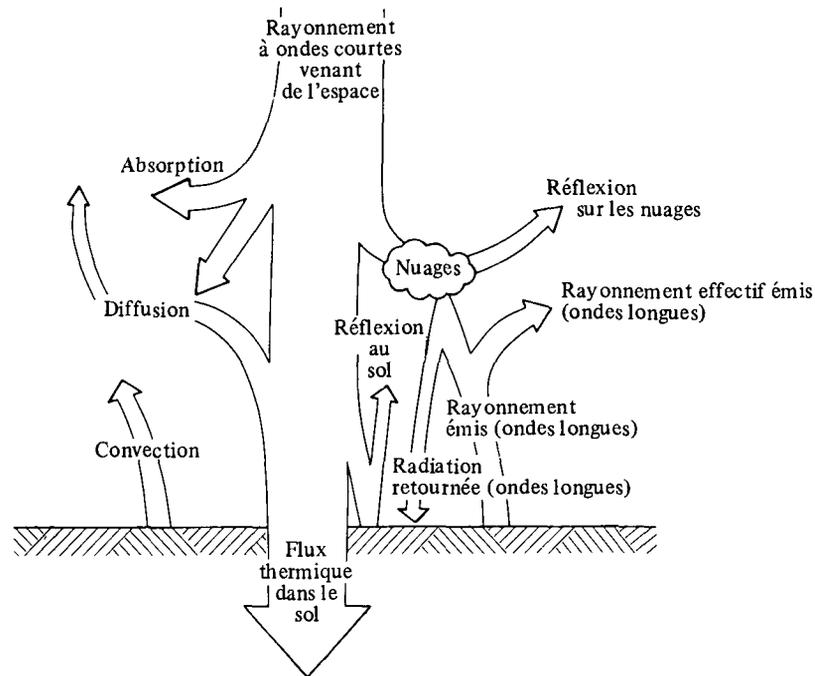


Figure 1 Transfert de chaleur à la surface du sol au cours d'une journée ensoleillée

Le modèle géothermique complet, y compris le code d'échange thermique à la surface du sol, a été vérifié par comparaison aux températures mesurées à l'installation d'essai de Norman Wells de la compagnie Canadian Arctic Gas Pipelines Ltd. (Hwang, 1976). La figure 3 permet une comparaison des températures mesurées et prévues. On a noté une excellente concordance entre les températures mesurées et prévues, en profondeur, tandis que la concordance près de la surface du sol était satisfaisante.

#### APPLICATION DU MODÈLE

**Généralités.** — Le modèle géothermique permet de traiter un problème sur le terrain en plusieurs étapes que cette section analysera séparément. Comme pour de nombreuses questions de génie civil, il faut fréquemment adopter une approche itérative. Le nombre et l'ampleur des itérations varient selon chaque cas.

**Recueil des renseignements sur le site.** — La première étape de l'application du modèle géothermique consiste à réunir l'information nécessaire sur le site. Des données sur les conditions météorologiques et sur les conditions régnant près de la surface sont nécessaires. On peut se procurer auprès du ministère de l'Environnement du Canada des données météorologiques de qualités diverses, pour la plupart des régions nordiques. Lorsque les données ne sont pas disponibles pour le site précis choisi, une extrapolation à partir du site le plus proche est nécessaire. Lorsqu'on extrapole des données météorologiques, on doit tenir compte des effets de la géographie locale. Par exemple, les écarts de température seront plus grands au fond d'une vallée qu'à un endroit plus élevé. La direction et la vitesse du vent peuvent être fortement affectés par le terrain avoisinant.

Les données météorologiques comprennent les tableaux des moyennes mensuelles: a) de la température; b) de la vitesse et direction du vent; c) du rayonnement solaire; d) de la profondeur de la couverture nivale.

Pour évaluer les paramètres requis pour le code d'échange thermique à la surface du sol, il faut connaître les caractéristiques de la surface du sol. Ces données comprennent la densité et le type de végétation ainsi que les conditions aquatiques en surface. On devrait également noter et mesurer les saillies du terrain, ou des édifices, qui pourraient projeter une ombre sur le site. On devrait également estimer les conditions de congères.

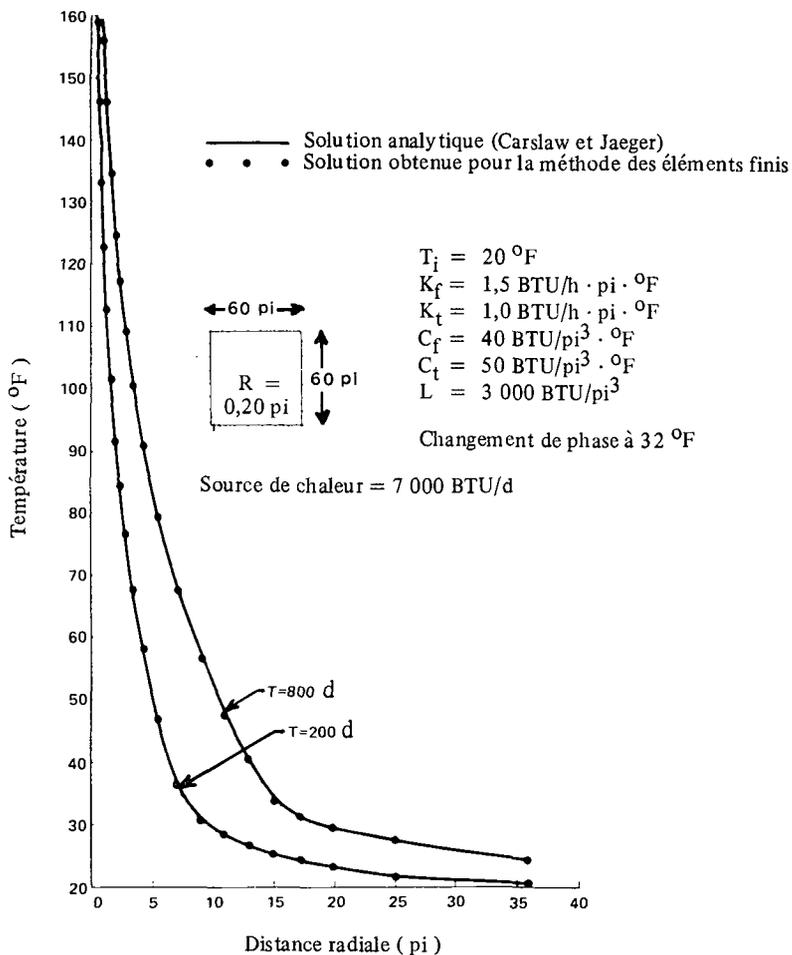
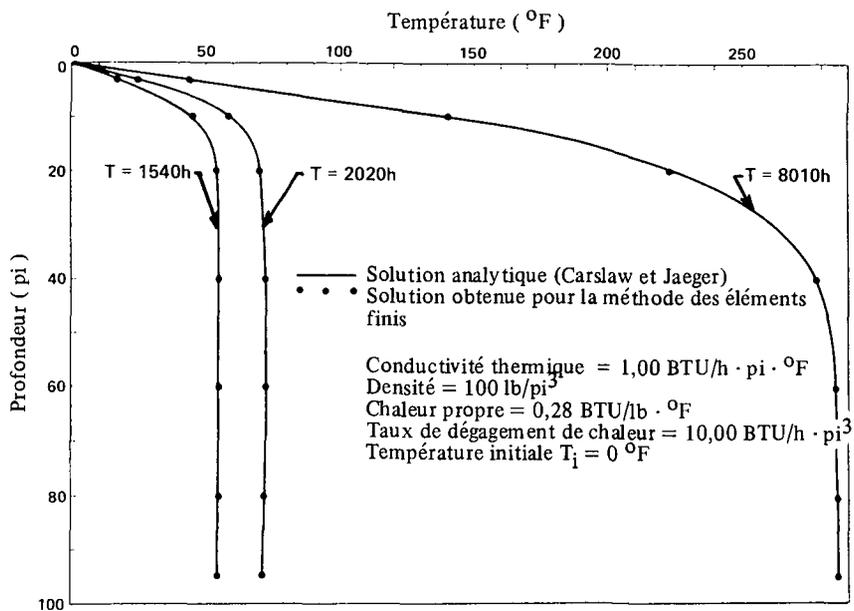


Figure 2 Vérification du modèle au moyen de solutions analytiques\*

\* Les unités de mesure sont telles que les auteurs les ont présentées.

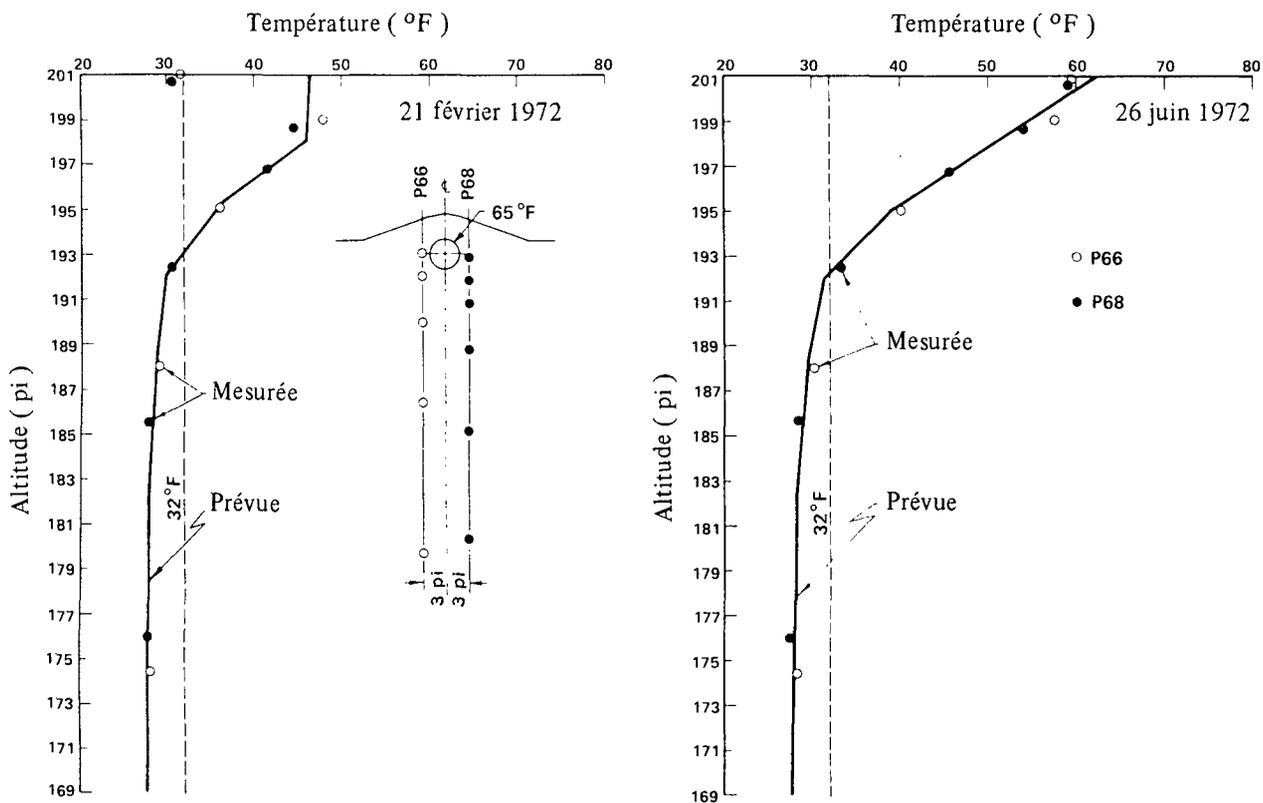
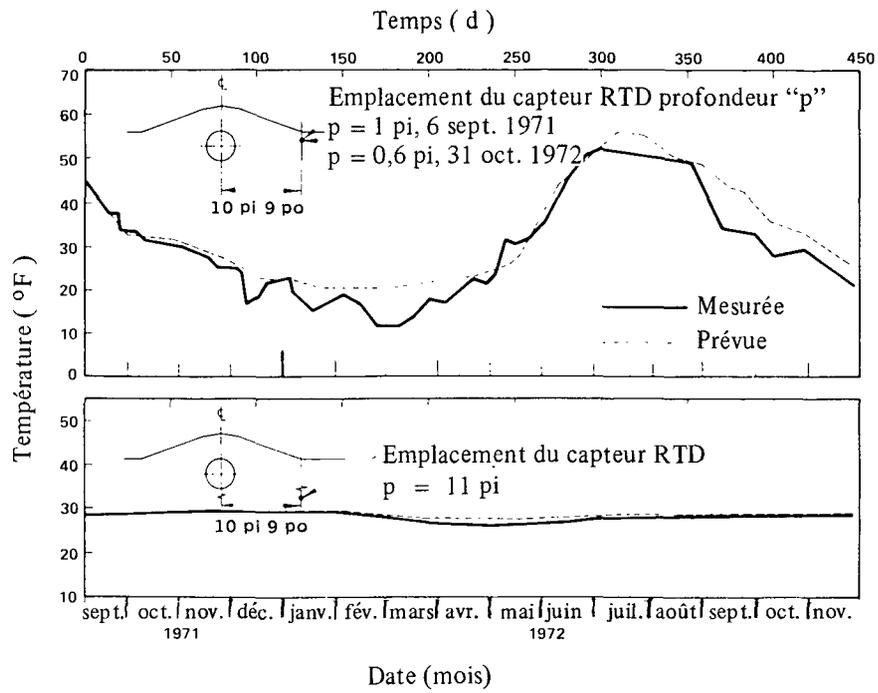


Figure 3 Comparaison des prévisions de modèle aux mesures sur le terrain, installation d'essai de Norman Wells, GAGSL\*

\* Les unités de mesure sont telles que les auteurs les ont présentées.

L'expert en génie civil qui effectue une telle analyse n'a que très rarement l'occasion de visiter le site tout au long de l'année. On devrait donc interroger les résidents concernant les conditions de congères, le ruissellement printanier et la végétation. De plus, on arrive d'habitude à trouver un habitant qui peut faire l'historique du site en ce qui concerne les problèmes antérieurs et la construction sur les lieux.

Une étude du sol près de la surface visant à cerner la stratigraphie, les propriétés du sol et les profils de températures est nécessaire. Dans la plupart des cas, cette étude consiste en un programme de forage. On doit obtenir suffisamment d'échantillons de sol pour en tirer un profil relativement continu de la densité et de la teneur en humidité du sol. La nature et l'étendue des couches organiques, ainsi que la détermination de la profondeur à laquelle se trouve la limite gel-dégel, exigent une attention spéciale. Pour évaluer la variabilité des conditions du sol à travers le site, il faut prévoir un nombre suffisant de trous de forage. L'installation d'instruments pour mesurer les températures du sol permet d'obtenir des données sûres. On devrait prendre des dispositions pour obtenir des lectures de température sur une base mensuelle.

**Détermination des propriétés thermiques.** — On tire les propriétés thermiques appropriées des données sur le site recueillies à l'étape précédente. Il existe une série de programmes dialogiques permettant de préparer la mise en format des données d'entrée.

Des estimations de l'albédo, de l'émissivité et du flux de chaleur de transpiration sont nécessaires. Ces valeurs sont évaluées à partir des conditions à la surface du sol. Hwang (1976) présente des tableaux de valeur pour les diverses conditions de surface. Une estimation de l'ampleur des congères est également nécessaire. La quantité de rayonnement solaire incident sur le site devrait être ajustée pour tenir compte des effets d'ombre.

La conductivité thermique du sol minéral est estimée en fonction de la teneur en eau et de la densité sèche, en s'appuyant sur les essais en laboratoire décrits par Kersten (1949). Pour les sols organiques, on estime la conductivité thermique à partir des relations présentées par DeVries (1963). On doit connaître la conductivité thermique d'un sol quand il est gelé et quand il ne l'est pas. La chaleur volumique spécifique du sol gelé et non gelé est calculée en fonction de la teneur en eau du sol. La chaleur volumique latente de gel est déterminée à partir de la teneur en eau du sol. Puisque l'eau dans un sol à granulométrie fine gèle progressivement à mesure que la température du sol tombe au-dessous de 0 °C, on a besoin d'une relation exprimant la quantité d'eau qui gèle comme une fonction de la température. Le rapport de la teneur en eau non gelée aux relations de température peut être obtenu directement en laboratoire, ou à partir de méthodes qui s'appuient sur les caractéristiques de l'indice du sol (Dillon et Andersland, 1966).

**Étalonnage du modèle.** — Les paramètres thermiques peuvent varier quelque peu selon les conditions qui prévalent sur le site. Pour s'assurer que l'analyse thermique est digne de confiance, un étalonnage du modèle par rapport au régime thermique du site est requis. Le but de cette opération est de prévoir les températures du sol, l'épaisseur de la couche active et la profondeur de gel saisonnier qui seront mesurées dans les conditions réelles. On pourra ajuster les propriétés thermiques pour obtenir une concordance satisfaisante entre conditions prévues et réelles.

**Analyse bidimensionnelle.** — Dès que l'on a établi la justesse des paramètres thermiques, on prévoit les effets que l'installation proposée aura sur le régime thermique du sol. Dans tous les cas, sauf les plus simples, cela exige une analyse géothermique bidimensionnelle.

À cette fin, on construit une grille à éléments finis représentant la structure du sol. Pendant la construction de la grille, on s'efforce de minimiser le nombre d'éléments et donc le coût d'exécution du modèle, tout en s'assurant que la précision ne sera pas diminuée par un nombre insuffisant d'éléments. L'orientation des éléments triangulaires qui constituent la grille est telle que leurs limites coïncident avec les limites stratigraphiques et structurales. Chaque élément est associé à un ensemble donné de propriétés thermiques. Il faut prévoir des éléments de petite taille pour les régions où l'on escompte un fort gradient de température; par exemple, à la surface du sol ou près d'une source ou d'un dissipateur de chaleur. Dans les zones où le gradient est faible (en profondeur), on peut utiliser des éléments beaucoup plus grands. Pour réduire la dimension de la grille, on fait un usage maximal de la symétrie et des limites proches d'un flux de chaleur zéro.

Après l'établissement et le codage de la grille, on utilise un sous-programme pour tracer les données enregistrées et pour déceler les erreurs de codage.

La période de temps simulée au cours de l'analyse dépend du problème précis examiné. Pour les pipelines et les gazoducs souterrains à grand diamètre, avec source ou dissipateurs de chaleur concentrés, l'analyse doit couvrir

toute la vie utile de la structure. Pour d'autres problèmes qui créent une perturbation thermique moindre, la période d'analyse doit être suffisamment longue pour s'assurer que l'on aura atteint les conditions du régime permanent.

La sortie du modèle géothermique consiste en une tabulation de la température à chaque point nodal plus la position de l'isotherme 0 °C à des intervalles de temps fréquents.

Le modèle peut également traiter ces données de façon sélective. Les possibilités sont les suivantes: a) un tracé bidimensionnel d'isothermes choisis (d'habitude 0 °C) à des moments déterminés; b) la température à un point donné en fonction du temps.

Si l'on découvre que la stabilité thermique du sol est marginale, des passages supplémentaires du programme peuvent être nécessaires pour déterminer la sensibilité du régime thermique aux conditions météorologiques anormales et aux propriétés différentes du sol.

Dans le cas d'un problème de conception, il faudrait une analyse supplémentaire qui évaluerait les effets du système d'isolation thermique, de l'épaisseur variable du remblai, de la profondeur de l'excavation, et autres variables de calcul.

### ÉTUDES DE CAS

Le modèle géothermique a fourni une aide utile pour la conception de plusieurs projets municipaux dans le nord du Canada. Voici deux cas typiques.

**Réseau de canalisations d'eau et d'égout de Dawson City.** — Le premier réseau d'eau et d'égout dans le Nord a été installé à Dawson (Yukon) en 1904. Ce réseau, qui utilisait des tuyaux souterrains à douves en bois, a résisté au soulèvement par le gel et à l'affaissement au fil des années. Ces derniers temps toutefois, les frais d'entretien ont connu une hausse substantielle et on a décidé de reconstruire le réseau.

Un programme de forage a été entrepris pour déterminer la stratigraphie et les propriétés thermiques du sol. Des câbles de thermistance ont été installés pour déterminer les températures réelles du sol. Sous la surface, on trouve environ 5 m de limon au-dessus d'un gravier grossier et de roche de fond. Dans la plus grande partie de la ville, le limon se trouve à l'état de pergélisol et contient un excédent de glace variant de 10 à 20 p. cent en volume. La couche active recouvrant les routes est d'environ 1,5 m.

Pour le projet de reconstruction, on a songé à un réseau souterrain. La profondeur à laquelle il serait installé varierait de 1,5 à 4 m. Sans l'ombre d'un doute, il fallait se préoccuper du tassement suite au dégel du limon riche en glace, en-dessous des tuyaux. C'est pourquoi l'ingénieur municipal a choisi pour la tuyauterie, à titre d'essai, des tuyaux en polyéthylène isolés.

Une analyse quasi-statique utilisant les méthodes suggérées par Hwang (1977) a été effectuée. Selon cette analyse, il y aurait dégel continu du sol en-dessous des tuyaux enfouis. On s'est rendu compte, cependant, que le modèle quasi-statique était trop conservateur dans ce cas parce que l'analyse ne tenait pas compte des propriétés thermiques différentes des matériaux de remblai, et parce que le flux de chaleur à partir du tuyau isolé était assez réduit par rapport au flux de chaleur saisonnier à travers la surface du sol.

Au moyen du modèle géothermique, on a cependant pu corriger le caractère conservateur de l'analyse quasi-statique. Plusieurs sections transversales de la tranchée ont été analysées. Les paramètres que l'on a fait varier étaient les suivants: a) profondeur d'enfouissement du tuyau; b) localisation sous les routes ou en dehors de celles-ci; c) échancier de construction.

La figure 4 donne les résultats de l'une des analyses. Elle montre l'étendue maximale du dégel au cours des deux premières saisons, ainsi que la position du front de dégel immédiatement au-dessous du tuyau, en fonction du temps.

À cause de la conductivité thermique élevée du matériau de remblai, on a prévu que la couche active adjacente à la tranchée se tasserait. On s'est rendu compte qu'une couche d'assise supplémentaire sous le tuyau serait nécessaire; un certain dégel pourrait avoir lieu au cours des mois d'été, sans entraîner l'affaissement du sol. L'analyse a indiqué que le dégel ne pourrait traverser cette couche d'assise qui après deux ans gèlerait et resterait gelée.

À l'heure actuelle, le projet de reconstruction du réseau de Dawson n'a pas encore dépassé le stade de la conception. Mais le réseau sera doté des nouvelles installations et des données sur son rendement seront recueillies au cours des quelques années à venir.

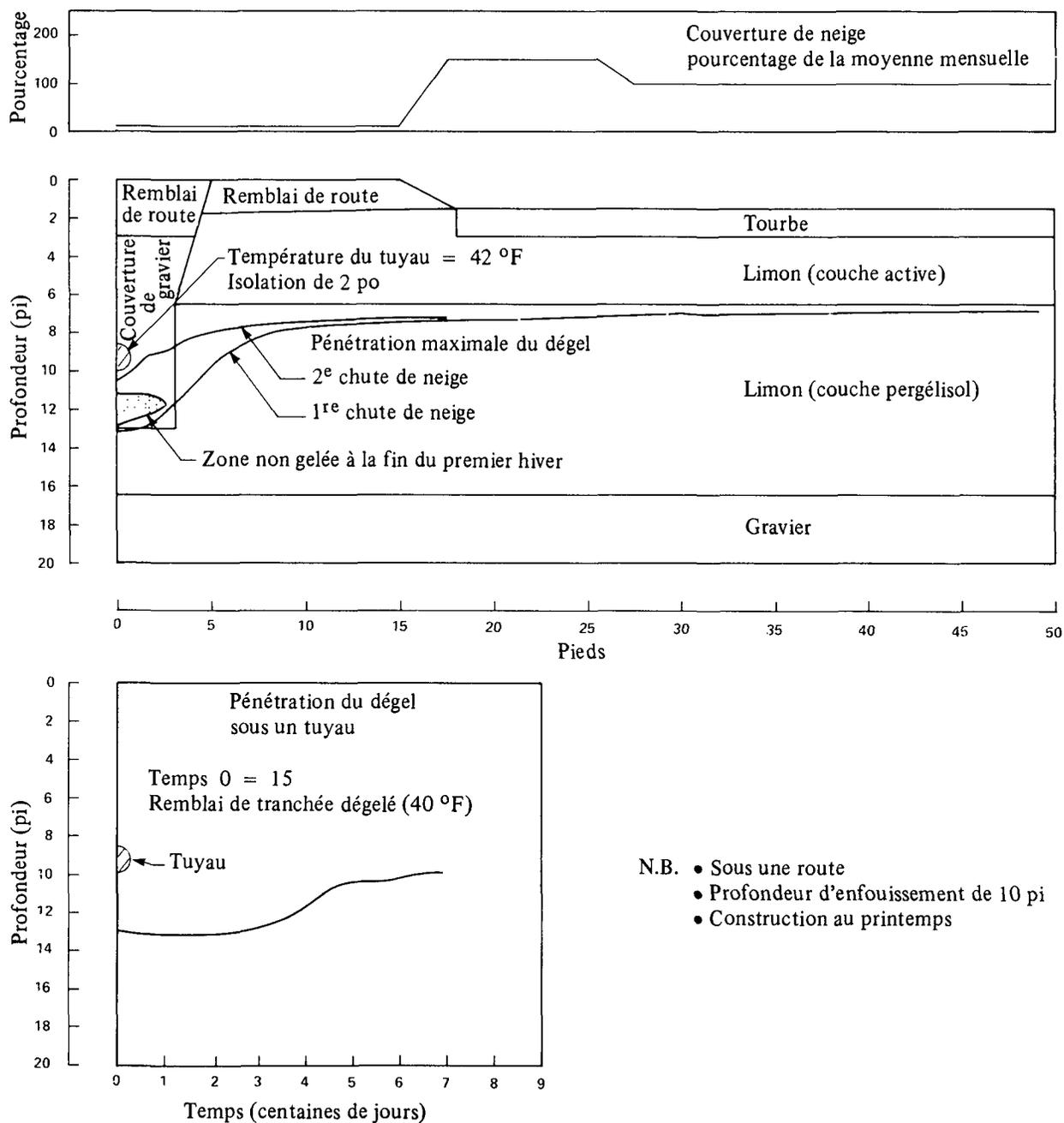


Figure 4 Résultats de l'analyse thermique; Dawson City\*

\* Les unités de mesure sont telles que les auteurs les ont présentées.

**Réservoir d'eau de Norman Wells.** — Pour améliorer le réseau utilitaire de Norman Wells, il fallait construire un réservoir d'eau chauffée. Les conditions du site comprennent 9 m de limon et d'argile sur une roche de fondation schisteuse. Le limon est à l'état de pergélisol, avec une teneur en glace excédentaire variant de 10 à 35 p. cent. L'épaisseur de la couche active est d'environ 2 m.

Trois types de fondations ont été envisagées pour le réservoir d'eau: a) structure de fondation sur pieux; b) plate-forme granulaire avec conduits de ventilation; c) plate-forme granulaire rendue thermiquement stable au moyen de tuyaux chauffants.

Le choix s'est porté sur cette dernière solution, à la fois plus économique qu'une fondation sur pieux et supérieure à une fondation sur plate-forme ventilée, car elle permet d'économiser l'espace et de minimiser l'entretien.

La figure 5 montre une section transversale des fondations du réservoir d'eau. Les tuyaux de chauffage sont placés directement en dessous du réservoir. Ceux qu'on a choisis, de marque Cryo-Anchor, sont fabriqués aux États-Unis par la McDonnell Douglas Astronautics Company. Ces tuyaux sont essentiellement des tubes d'aluminium contenant un fluide actif. L'évaporateur, à l'une des extrémités du tube, est enfoui au-dessous du réservoir d'eau, tandis que le radiateur (l'autre extrémité), est à l'air libre. Pendant le fonctionnement, lorsque la température extérieure est plus basse que celle du sol, le fluide actif se condense sur le radiateur et se déplace, par effet capillaire, le long du tuyau chauffant, vers l'évaporateur. Le fluide s'évapore, absorbant ainsi de la chaleur à partir de la couche sous-jacente, et s'écoule vers le radiateur, ce qui complète le cycle.

Lorsque le radiateur est plus chaud que l'évaporateur (c'est-à-dire en été), les tuyaux chauffants ne fonctionnent pas.

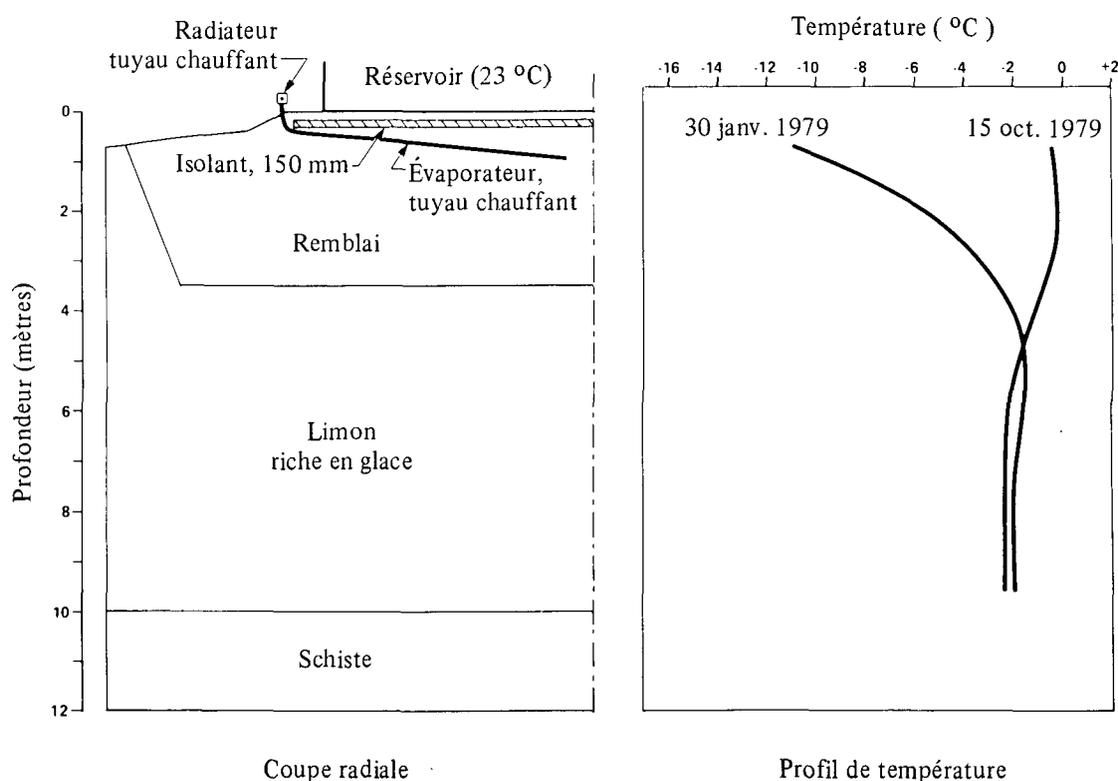


Figure 5 Coupe du réservoir d'eau et températures mesurées

Le modèle géothermique a été utilisé pour prévoir le régime thermique du sol au-dessous du réservoir d'eau. La figure 6 présente la section transversale analysée ainsi que les résultats.

Puisque les tuyaux chauffants extraient la chaleur du sous-sol uniquement pendant les mois d'hiver, le dégel sous le réservoir d'eau progresse pendant l'été. On a cherché à prévoir l'étendue du dégel à chaque été, pour remplacer le sol par un matériau résistant au gel et au dégel. De plus, on a fixé l'espacement des tuyaux chauffants de façon à s'assurer que le regel, au cours de l'hiver suivant, sera complet.

À partir de l'analyse thermique, on a déterminé une profondeur de sol à remplacer de 3,5 m (correspondant au dégel au cours de la saison de construction), ainsi qu'un espacement des tuyaux chauffants équivalant à 12 tuyaux de chauffage disposés en rayons.

Le déroulement de la construction s'est écarté de celui qu'on avait présumé pour l'analyse. Les étapes d'excavation et de remblayage ont été effectuées à la fin de l'automne 1977, et l'isolation a été mise en place au cours du mois de mars 1978. Le réservoir a été posé sur la fondation au cours de l'été 1979 et rempli d'eau chaude à la fin de l'automne 1978. À cause du refroidissement du sol de fondation après l'étape de remblayage et à cause de la mise en place hâtive de l'isolation thermique, le sol de fondation n'était pas encore dégelé lorsque les tuyaux chauffants ont commencé à fonctionner à l'automne 1978. Des données sur la température de regel ne sont donc pas disponibles pour une comparaison. Cependant, les données de température de la figure 5 montrent le refroidissement rapide du sol de fondation dû au fonctionnement des tuyaux chauffants. Des données de température seront disponibles au cours des saisons à venir, et nous pourrions les confronter aux prévisions de départ.

### CONCLUSION

Le présent article examinait les techniques employées lorsqu'on fait usage du modèle géothermique, ainsi que certaines applications caractéristiques d'un modèle. Nous espérons qu'une bonne connaissance des capacités du modèle géothermique aidera les ingénieurs municipaux à assurer des services économiques et sûrs aux localités du Nord.

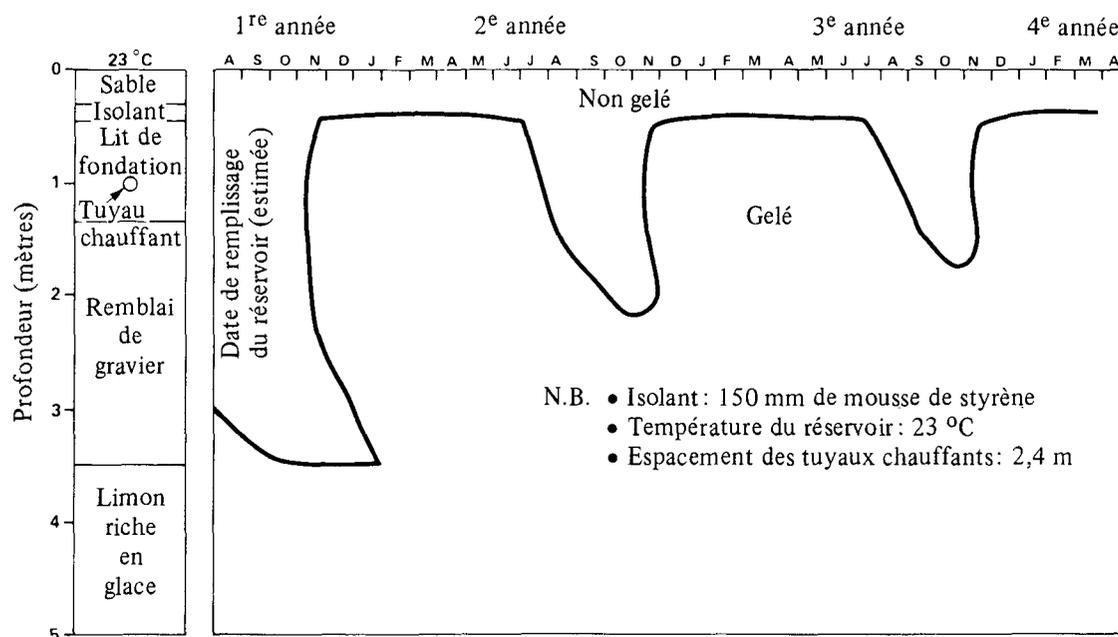


Figure 6 Réservoir d'eau de Norman Wells; prévision de la profondeur de dégel

## REMERCIEMENTS

Le calcul thermique du réservoir d'eau de Norman Wells a été effectué par M. Chris Graham, ingénieur, EBA. Nous tenons à remercier également M. Ed Shillington de Stanley Associates et M. Wayne Irwin de M.M. Dillon, pour leur collaboration aux projets des villes de Dawson et de Norman Wells. Nous les remercions tout particulièrement pour leur aide et leurs commentaires fort utiles tout au long de la réalisation de ces projets.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brown, W.G., *Graphic Determination of Temperatures under Heated or Cooled Areas on the Ground Surface*, document technique 163 du Conseil national de recherches du Canada, 1963.
- Carlslaw, H.S. et J.C. Jaeger, *Conduction of Heat in Solids*, Clarendon Press, Oxford, 1947.
- De Vries, D.A., Thermal Properties of Soils, dans W.R. Van Wijk, *Physics of Plant Environment*, chap. 7, John Wiley and Sons, New York, 1963.
- Dillon, D.B. et O.B. Andersland, Predicting Unfrozen Water Content in Frozen Soils, *Can. Geotech. J.*, (3), pp. 53-60, 1966.
- Hwang, C.T., Predictions and Observations on the Behaviour of a Warm Gas Pipeline on Permafrost, *Can. Geotech. J.*, (13), pp. 452-480, 1976.
- Hwang, C.T., On Quasi-Static Solutions for Buried Pipes in Permafrost, *Can. Geotech. J.*, (14), pp. 180-192, 1977.
- Hwang, C.T., D.W. Murray et E.W. Brooker, A Thermal Analysis for Structures on Permafrost, *Can. Geotech. J.*, (9), pp. 33-46, 1972.
- Jumikis, A.R., *Graphs for Disturbance-Temperature Distribution in Permafrost Under Heated Rectangular Structures*, 3<sup>e</sup> Conférence internationale sur le pergélisol, Edmonton, 1977.
- Kersten, M.S., *Laboratory Research for the Determination of the Thermal Properties of Soils*, rapport final à l'Université de Minnesota.
- Thornton, D.E., Steady-state and Quasi-Static Thermal Results for Base and Insulated Pipes in Permafrost, *Can. Geotech. J.*, (13), pp. 161-171, 1976.
- Tsytoich, N.A., *The Mechanics of Frozen Ground*, C.K. Swinzon (éd.), McGraw Hill, New York, 1975.
- U.S. Department of Army, *Calculation Methods for Determination of Depths of Freeze and Thaw in Soils*, Dept. Army Tech. Man. TM5-852-6, 1966.
- Williams, P.G., *Use of the Ice Water Surface Tension Concept in Engineering Practice*, Highw. Res. Rec. 393, NAS-NRC, Washington, pp. 19-29, 1972.

SEPTIÈME SÉANCE  
APPLICATIONS INFORMATIQUES

ANALYSE THERMODYNAMIQUE DU RÉSEAU  
DE DISTRIBUTION D'EAU À INUVIK (T.N.-O.)

J.A. Hull, ingénieur  
Associated Engineering Services Limited  
Edmonton (Alberta)

**INTRODUCTION**

Protéger les tuyaux contre le gel, de façon économique, représente peut-être la tâche la plus difficile du concepteur d'un réseau de distribution d'eau pour le Nord. Les réseaux situés au-dessus du sol sont exposés à des conditions météorologiques extrêmes, aux dégâts accidentels et au vandalisme. La fourchette de températures auxquelles est exposé un réseau souterrain est plus étroite, mais aussi plus difficile, peut-être, à prévoir au stade de la conception. Les réseaux appartenant aux deux catégories doivent pouvoir fonctionner avec des pertes de chaleur minimales qui correspondent à l'économie d'ensemble tout en étant absolument sûrs. Dès qu'une conduite maîtresse est bloquée par la glace en un point quelconque, il est très difficile d'éviter le gel de tout le tuyau ou de tout un embranchement du réseau, ainsi que des dégâts considérables.

Les techniques normalement employées pour éviter le gel des réseaux de distribution d'eau dans le Nord comprennent:

- 1) L'isolation thermique des conduites de distribution selon trois modalités: enfouissement profond des tuyaux, application directe d'isolant sur le tuyau, ou installation d'une enceinte isolée autour du tuyau.
- 2) La circulation forcée d'eau dans le réseau, ou le recours à la demande domestique pour assurer la circulation et l'apport de chaleur à certains points du réseau.
- 3) Le chauffage externe de l'ensemble du réseau, soit par câbles chauffants installés sur la tuyauterie ou à l'intérieur de celle-ci, soit grâce à la chaleur qui se dégage de tuyaux plus chauds (comme les canalisations distributrices des installations thermiques), posés parallèlement au tuyau adducteur d'eau.

Étant donné qu'Inuvik a été construit dans une région de pergélisol très sensible au dégel, le réseau d'eau et d'égout de la ville a été aménagé au-dessus du sol, dans des utilidors. Au fil des années, on a employé toute une gamme de types d'utilidors, en s'efforçant surtout d'en réduire le coût en capital extrêmement élevé. On a donc utilisé, selon diverses combinaisons, la plupart des techniques de protection contre le gel mentionnées ci-dessus.

Par expérience, on sait que la protection contre le gel est marginale pour certains embranchements du réseau. Il semblerait également que les gaines isolantes, dans certains cas, perdent leur efficacité avec le temps. Dans cet esprit, nous avons entrepris une analyse thermique du système d'utilidors d'Inuvik, puis comparé l'efficacité des diverses techniques de protection contre le gel.

**PROGRAMME INFORMATIQUE**

L'analyse a été effectuée au moyen d'une série de programmes connue sous le nom d'HYDROTHERM et mise au point par Associates Engineering Services Limited; elle simulait les aspects tant hydrauliques que thermodynamiques d'un réseau de canalisations (c.-à-d. de conduites). L'ensemble comprend 9 programmes actifs, exécutés dans un ordre automatique auto-générateur.

En général, le programme est du type itératif, la pression, le débit, la température, etc., étant calculés et corrigés d'une itération à l'autre.

Les paramètres hydrauliques sont simulés par les équations de Darcy et Colebrook. La viscosité et la densité de l'eau sont calculées suivant les conditions réelles de pression et de température, puis on applique les équations hydrauliques.

L'analyse thermodynamique comprend le calcul des pertes de chaleur dans l'utilidor, au moyen des équations du bilan de chaleur. Dans le cadre d'HYDROTHERM, des sous-programmes calculent la température du volume d'air à l'intérieur de l'utilidor, la chaleur perdue ou gagnée par la tuyauterie de distribution d'eau ainsi que la température de l'eau, étant données la température à l'extérieur et la résistance thermique de l'enceinte.

## TYPES D'UTILIDORS

Depuis la fondation d'Inuvik, la ville a installé plusieurs types d'utilidors. Les nouvelles conceptions étaient motivées surtout par le coût en capital extrêmement élevé des utilidors. La figure 1 montre les sections transversales de plusieurs utilidors d'usage courant.

Du point de vue de leur conception thermique, les utilidors d'Inuvik se divisent en deux catégories: ceux qui supportent les tuyaux de distribution du système de chauffage central d'Inuvik, et ceux qui n'en supportent pas. Les utilidors qui supportent des conduites d'eau à haute température (CEHT) sont chauffés par la chaleur qui s'en dégage. Les utilidors qui ne transportent que des conduites d'eau et/ou d'égout sont classés dans la catégorie "non chauffés".

Le type 1 de la figure 1 montre la configuration des utilidors chauffés. Pour ceux-ci, l'isolant principal suit la périphérie de la section de l'utilidor entourant un espace d'air chaud où passent tous les tuyaux. De plus, les conduites EHT sont isolées pour éviter les pertes de chaleur excessives. L'isolation thermique est interrompue sur 0,3 m tous les 12,2 m, afin de permettre un chauffage adéquat de l'air à l'intérieur de l'utilidor pour éviter le gel des conduites d'eau et d'égout. Le diamètre des conduites EHT varie de 32 mm à 200 mm.

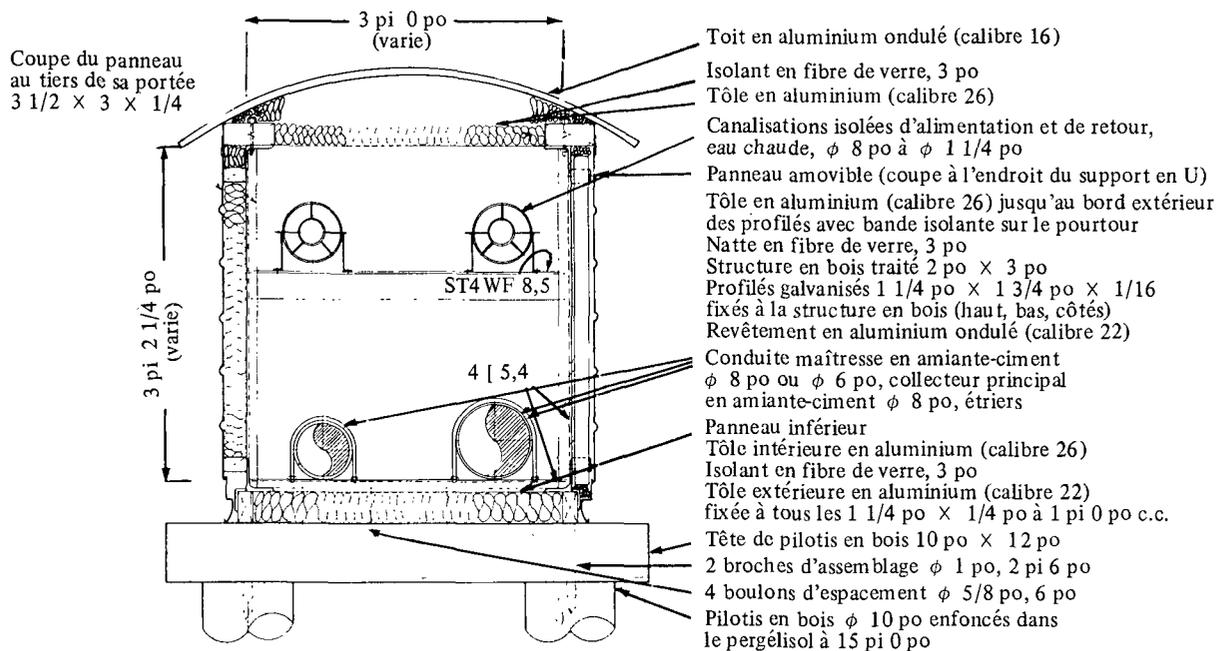
Les types 2 à 6 de la figure 1 montrent des utilidors qui ne supportent pas de conduites EHT. Dans ce cas, tout l'espace intérieur entre les tuyaux est généralement rempli d'un isolant en polystyrène libre.

À moins d'une détérioration sérieuse du revêtement extérieur, il semblerait qu'il y ait très peu de risques de gel des conduites d'eau et d'égout dans les utilidors chauffés et que, dans les circonstances normales, l'eau et les eaux usées circulant dans ces conduites seront progressivement chauffées. D'autre part, l'eau et les eaux usées circulant dans les utilidors non chauffés se refroidiront progressivement; la température de l'eau qui arrive au réseau de distribution tend en hiver à se rapprocher du point de congélation. Dans les embranchements non chauffés, il est donc essentiel que l'eau circule continuellement et que des apports de chaleur soient effectués en certains points. Par ailleurs, les eaux usées rejetées par les bâtiments ont une température relativement élevée, suffisante pour empêcher le gel de tous les embranchements du réseau d'égouts, y compris ceux qui ne sont pas chauffés.

Il n'y a pas eu de prolongement important du réseau de distribution d'EHT d'Inuvik depuis 1970; tous les utilidors construits depuis cette date appartiennent donc à la catégorie non chauffée. La figure 2 montre l'aménagement du système d'utilidors et la localisation des conduites chauffées ou non chauffées dans le réseau de distribution. L'eau destinée à la consommation domestique circulant dans les utilidors non chauffés est réchauffée à des stations en nombre réduit, par des échangeurs de chaleur fonctionnant à partir du réseau de CEHT. Puisque la proportion des utilidors non chauffés s'est accrue dans l'ensemble du réseau, et puisque les sections non chauffées du réseau ont des embranchements encore plus éloignés des conduites d'EHT, le risque de stagnation et de gel a lui aussi augmenté.

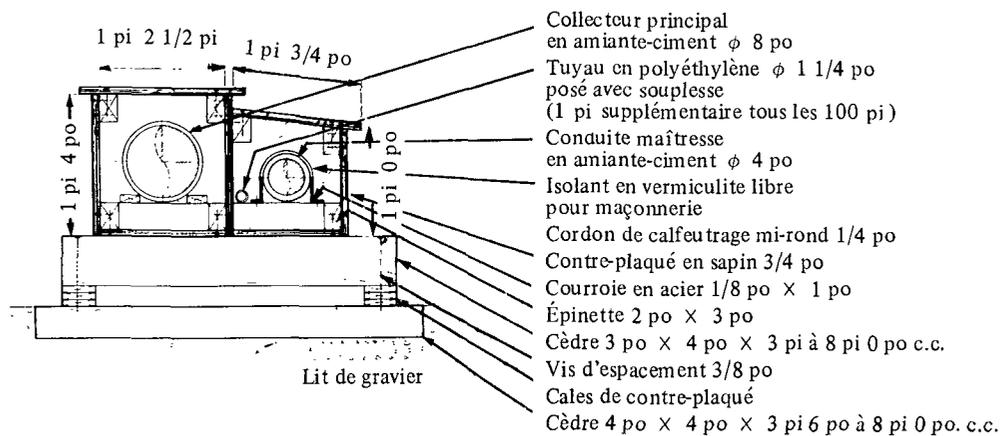
La conception des utilidors évoluant, on a essayé plusieurs types différents de matériaux isolants ayant des propriétés thermiques et une durabilité diverses selon les conditions existantes. Ces matériaux comprennent la fibre de verre, un matériau de remplissage de maçonnerie en vermiculite, la vermiculite isolante pour grenier, la mousse de styrène, le polyuréthane, les panneaux en polystyrène et le polystyrène en vrac. Bien que les utilidors soient conçus de façon à résister aux intempéries et à rester secs, leur aptitude à maintenir leur taux de résistance thermique dans des conditions d'humidité élevée s'est révélée être une caractéristique importante. De l'eau peut s'introduire par des fissures au niveau de la toiture ou des murs, par les tuyaux ébréchés, suite aux opérations d'entretien nécessitant le démontage de certaines composantes, à la suite des pluies d'été lorsque des sections d'utilidor sont ouvertes pour l'entretien routinier et ainsi de suite, sans oublier non plus la formation de gel à l'intérieur d'un isolant perméable, pendant l'hiver.

Aux fins de l'analyse thermique des utilidors d'Inuvik, on a calculé la résistance thermique théorique ("facteur R") de chaque type d'utilidor, en tenant compte de facteurs tels que la géométrie de l'enceinte ainsi que la conductivité thermique ("facteur K") des matériaux de construction et d'isolation employés. Ensuite, tous les facteurs R ont été arbitrairement ramenés à 50 p. cent de leur valeur théorique, parce que l'inspection sur le site a révélé que de nombreux utilidors avaient des défauts (par endroits, les joints d'étanchéité et l'isolant étaient endommagés, en de nombreux endroits il y avait infiltration d'air).



**TYPE 1**

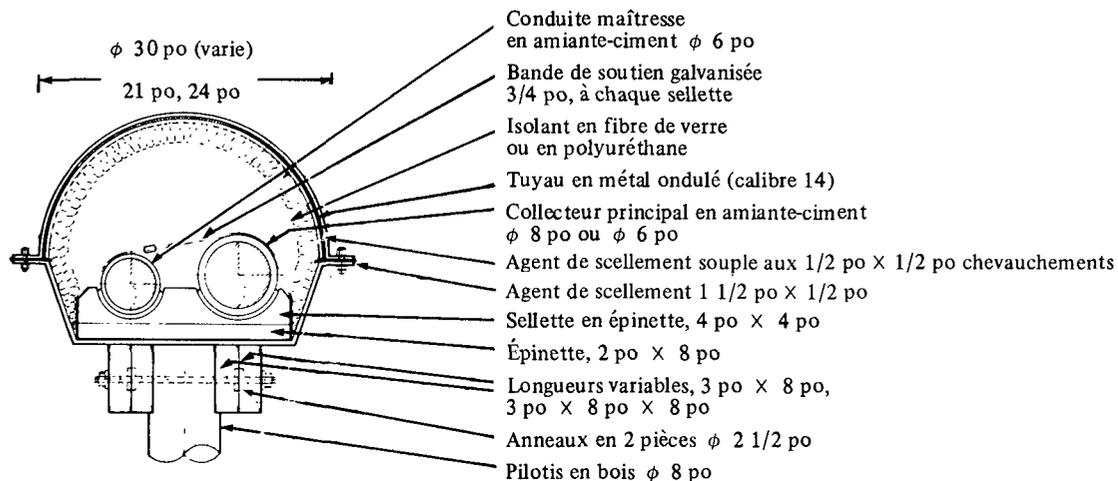
Utilidor avec canalisations de chauffage central



**TYPE 2**

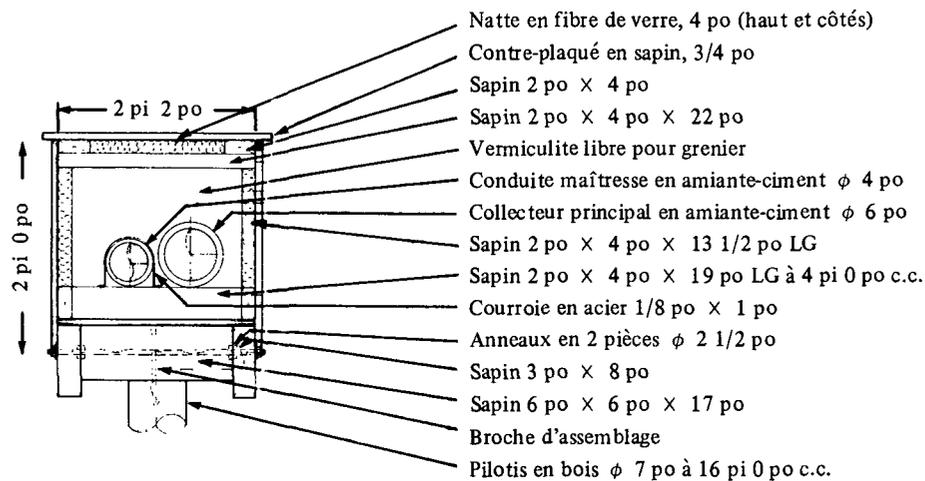
Utilidor à coffrage en contre-plaqué sur support

Figure 1 Types d'utilidors existant à Inuvik (T. N.-O.)



**TYPE 3**

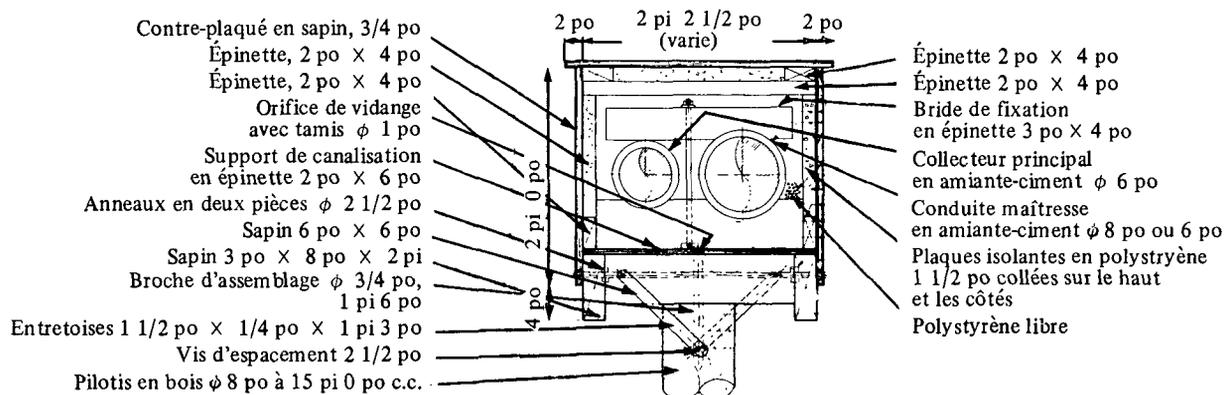
Utilidor en métal ondulé



**TYPE 4**

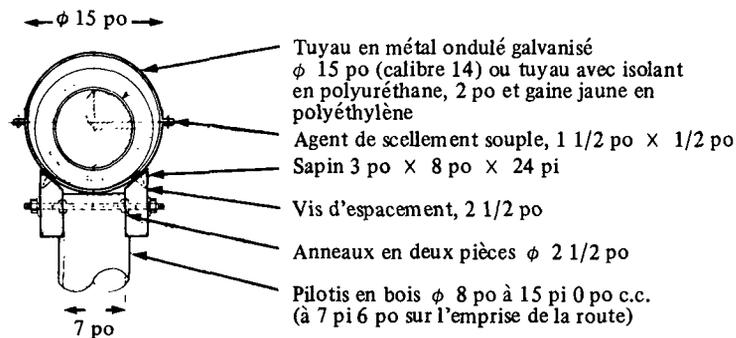
Utilidor à coffrage en contre-plaqué sur pilotis (a)

Figure 1 (suite) Types d'utilidors existant à Inuvik (T. N.-O.)



### TYPE 5

Utilidor à coffrage  
en contre-plaqué  
sur pilotis (b)



### TYPE 6

Utilidor à canalisation unique  
en métal ondulé

Figure 1 (suite) Types d'utilidors existant à Inuvik (T.N.O.)

## ÉCHANGEURS DE CHALEUR

L'installation d'échangeurs de chaleur la plus courante est la suivante: une faible portion du débit d'eau est dérivée de la conduite maîtresse, passe à travers l'enveloppe de l'échangeur de chaleur et retourne à la conduite principale. Une petite pompe fait circuler l'eau à travers le circuit de l'échangeur de chaleur, cependant qu'un clapet de retenue au niveau de la conduite principale (entre les connexions du circuit échangeur de chaleur), assure que l'eau réchauffée continue à circuler dans la conduite maîtresse au lieu de simplement boucler le cycle dans l'échangeur.

La température de l'eau qui sort des divers échangeurs de chaleur nous a été fournie par l'exploitant du réseau, la Commission d'énergie du Nord canadien. Dans son analyse du réseau de distribution d'eau, HYDROTHERM a traité les échangeurs de chaleur comme des sources de chaleur ("chaudières"), dont la fonction serait d'élever la température de l'eau qui les traverse jusqu'à une température déterminée à l'avance, en respectant les limites imposées par leur capacité nominale. La quantité d'eau traversant chaque échangeur de chaleur a été déterminée dans la partie "analyse hydraulique" d'HYDROTHERM. On a utilisé à cette fin des paramètres hydrauliques standards pour les circuits échangeurs de chaleur ainsi que des courbes nominales pour les pompes de circulation.

## TEMPÉRATURE DE L'AIR AMBIANT

Les températures de calcul pour Inuvik au mois de janvier sont de - 44 °C (2 1/2 p. cent) et de - 45,5 °C (1 p. cent). Estimant que la réaction thermique du système aux conditions ambiantes serait assez lente et que la relation entre les pertes de chaleur et la température serait plutôt linéaire, on a retenu pour l'analyse une température de l'air ambiant de - 40 °C. On a également fait un essai pour vérifier l'impact qu'auraient des conditions extrêmes de température de - 51 °C.

## APPROVISIONNEMENT EN EAU L'HIVER

Pendant l'hiver, Inuvik tire l'eau qui lui est nécessaire du Canal Est (East Channel) du Mackenzie. L'eau est pompée directement dans le réseau de distribution, et on y ajoute du chlore et du fluor. En hiver, la température de l'eau dans le fleuve est proche de 0 °C. Pendant les périodes de pointe, les pompes d'admission sur le fleuve ont une capacité insuffisante pour combler la demande. Cette lacune est comblée par les réservoirs d'eau de la ville, d'une capacité de 2 273 m<sup>3</sup>. Cette eau arrive dans le réseau à une température de 2 °C. La construction d'une usine de traitement de l'eau est prévue pour 1979. L'eau passant par l'usine sera préchauffée à 2 °C; toute l'eau entrant dans le réseau se trouvera donc à 2 °C.

## FACTEURS RELATIFS À LA DEMANDE

Dans les analyses thermodynamiques, il importe de considérer divers niveaux de demande afin d'en déterminer les effets sur les configurations de circulation et sur les vitesses d'écoulement. Par exemple, si il y a inversion de l'écoulement parce que la demande d'eau s'accroît ou diminue, alors il existe un cas limite où la vitesse d'écoulement est nulle. Dans un utilidor non chauffé, cela signifie le gel de l'eau si seulement les conditions d'écoulement nul ou lent persistent pendant quelques heures. (La rapidité du gel dépendrait en fait de la température externe, de la résistance thermique de l'utilidor et de la température initiale de l'eau.) On a donc déterminé pour l'analyse plusieurs niveaux de la demande:

Niveau de la demande	
1) Demande nulle	0
2) Quart de la demande moyenne quotidienne	0,25
3) Moitié de la demande moyenne quotidienne	0,5
4) Charge quotidienne moyenne	1,0
5) Charge quotidienne de pointe	1,6

## CONFIGURATION DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ET CONDITIONS DE L'ALIMENTATION EN EAU

On a effectué des analyses, pour différents niveaux de la demande, de la configuration actuelle du réseau de distribution, et de l'approvisionnement en eau actuel ou prévu.

- 1) Le réseau dans son état actuel a été analysé en tenant compte des approvisionnements d'eau, en hiver, correspondant aux niveaux de demande 1, 2, 3, 4 et 5.
- 2) Le réseau dans son état actuel a été analysé en tenant compte des approvisionnements en eau prévus pour l'avenir, aux niveaux de demande 2, 3 et 4. Les autres niveaux n'ont pas été analysés parce que la construction de l'usine de traitement de l'eau n'aurait pas d'effet significatif sur la configuration de l'écoulement dans le réseau de distribution. Les capacités de pompage des installations d'approvisionnement actuelles ou prévues sont semblables. Étant donné que les pompes de l'usine de traitement de l'eau seront commandées par le niveau d'eau du réservoir, le réseau a été analysé en supposant que les pompes de distribution ne fonctionnaient pas au niveau 4 (1/4 de la moyenne quotidienne). Dans ces conditions, il faudrait environ 6 heures pour que la quantité d'eau contenue dans le réservoir soit ramenée à son niveau le plus bas.

## RÉSULTATS DES ANALYSES

La circulation et les effets thermiques sont complètement différents dans les utilidors chauffés et non chauffés; ces deux types d'utilidors ont donc été considérés séparément.

**Utilidors chauffés.** — La conception du réseau d'utilidors chauffés prévoyait comme protection contre le gel, non plus la circulation d'eau, mais l'utilisation de la chaleur perdue du réseau CEHT. Car il n'y a pas de circulation dans le système chauffé; l'écoulement dans la plupart des embranchements est très lent sur de vastes étendues. La figure 3 montre les sections du réseau où une inversion et/ou un écoulement d'une vitesse de moins de 0,03 m/s (0,1 pi/s) ont lieu à l'intérieur du champ de variation de la demande normale.

Puisque le schème de circulation dans la plupart des utilidors chauffés ne permet pas une distribution de chaleur efficace, ce sont les embranchements chauffés du réseau qui se chargent de la protection contre le gel au moyen de la récupération de la chaleur perdue des tuyauteries pour EHT. Cependant, d'après les résultats de l'analyse, il serait souhaitable d'entreprendre une étude supplémentaire pour déterminer l'efficacité et la valeur économique de cette approche.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, l'analyse informatique avait pour but de produire un modèle des conditions thermiques réelles à l'intérieur des utilidors chauffés. Les données d'entrée tenaient compte des facteurs R ajustés pour les parois des utilidors et pour l'isolant autour des tuyaux pour EHT, du fait que ceux-ci n'étaient pas isolés sur une longueur de 0,3 m tous les 12,2 m, des températures des tuyaux du réseau pour EHT ainsi que de la température à l'extérieur.

Selon les résultats de ces calculs, à - 40 °F à l'extérieur, la température à l'intérieur de certains utilidors chauffés reste à des niveaux acceptables, mais celle d'autres utilidors tombe au-dessous du point de congélation. La température de l'air intérieur semble dépendre surtout du diamètre des conduites EHT, c'est-à-dire de la superficie de la surface servant au transfert de chaleur. Les températures inférieures au point de congélation semblent s'être produites dans les utilidors ayant des conduites EHT de moins de 76 mm de diamètre, tandis que la température des utilidors ayant des conduites EHT de 76 mm ou plus est restée dans une plage de variations acceptable. D'après les résultats, à - 51 °C à l'extérieur il n'y a d'apport de chaleur à la conduite principale dans aucun des utilidors chauffés.

Il faut remarquer que le programme informatique analyse le réseau de distribution dans des conditions météorologiques et des conditions de demande invariables; c'est-à-dire que pour tout ensemble de conditions donné, on calcule le débit et la température en supposant que ces conditions existent depuis suffisamment longtemps pour que l'équilibre ait été atteint. Ce fait, combiné avec la circulation lente et les basses températures à l'intérieur des utilidors chauffés, nous ont permis de prévoir qu'il y aurait gel à plusieurs endroits. La figure 4 montre la gamme de températures prévues pour chaque embranchement du réseau, ainsi que les endroits où le gel anticipé par le programme aurait lieu si l'air ambiant reste à - 40 °C pendant une période prolongée. Le fait que la NCPC n'a pas encore signalé de cas de gel des utilidors chauffés reflète peut-être un calcul quelque peu conservateur des facteurs R pour les enceintes d'utilidors; ou bien le réseau de CEHT dégage peut-être plus de chaleur que ne l'indiquent les calculs (suite peut-être à la détérioration de l'isolant en fibre de verre autour des tuyaux, qui date déjà de 18 ans).

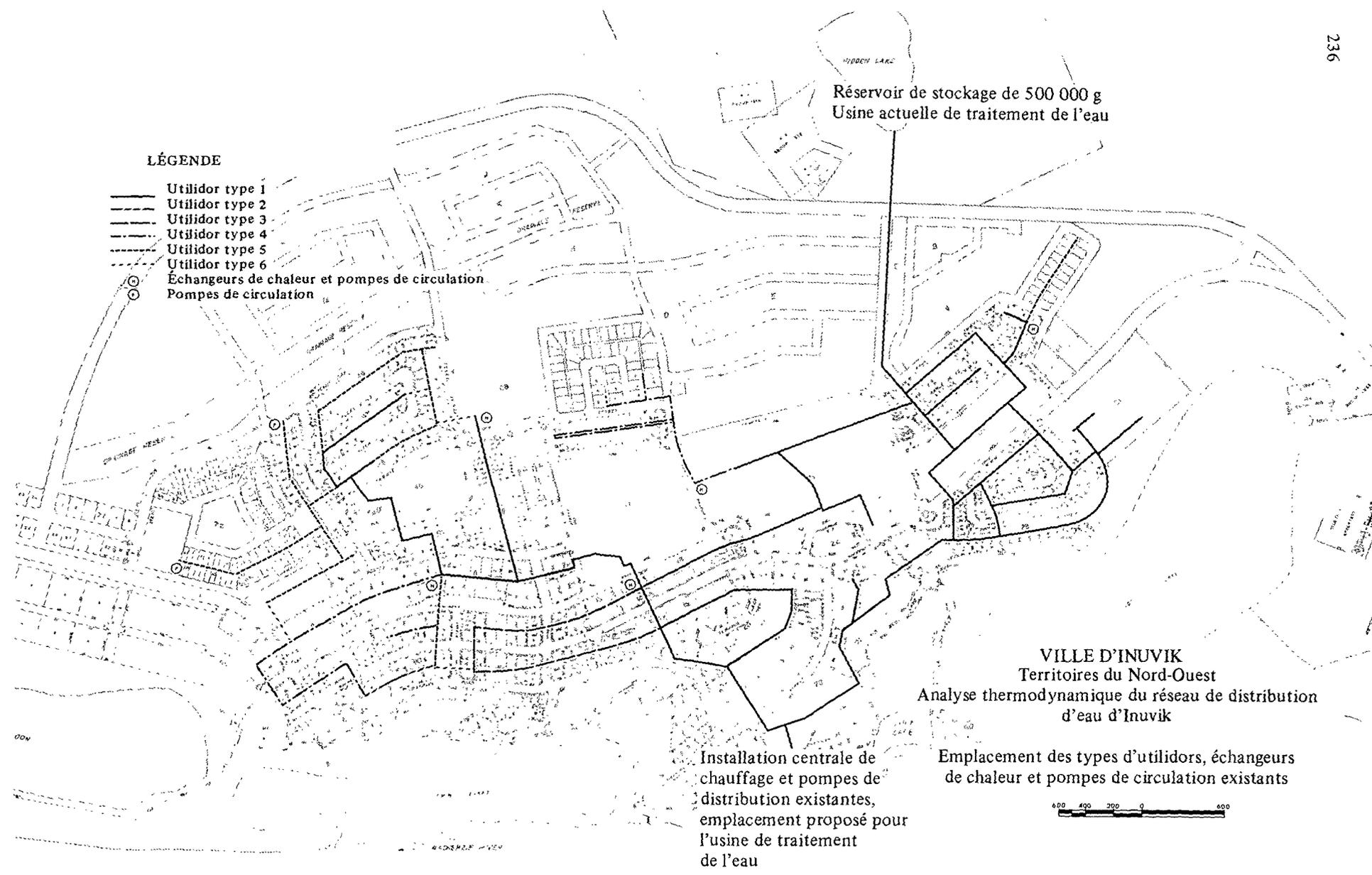


Figure 2 Emplacement des types d'utilidors, échangeurs de chaleur et pompes de circulation existants

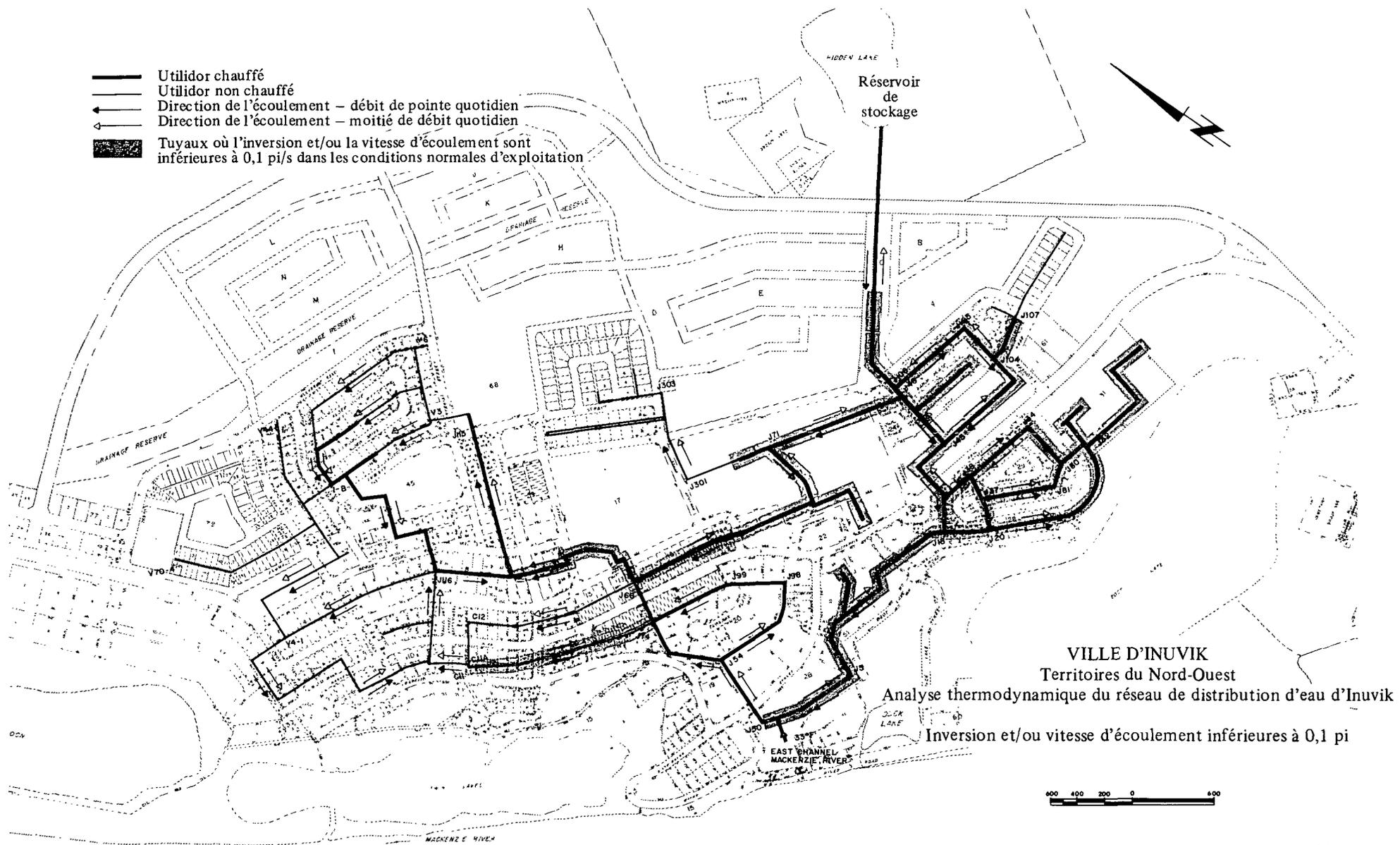


Figure 3 Inversion et/ou vitesse d'écoulement inférieures à 0,1 pi

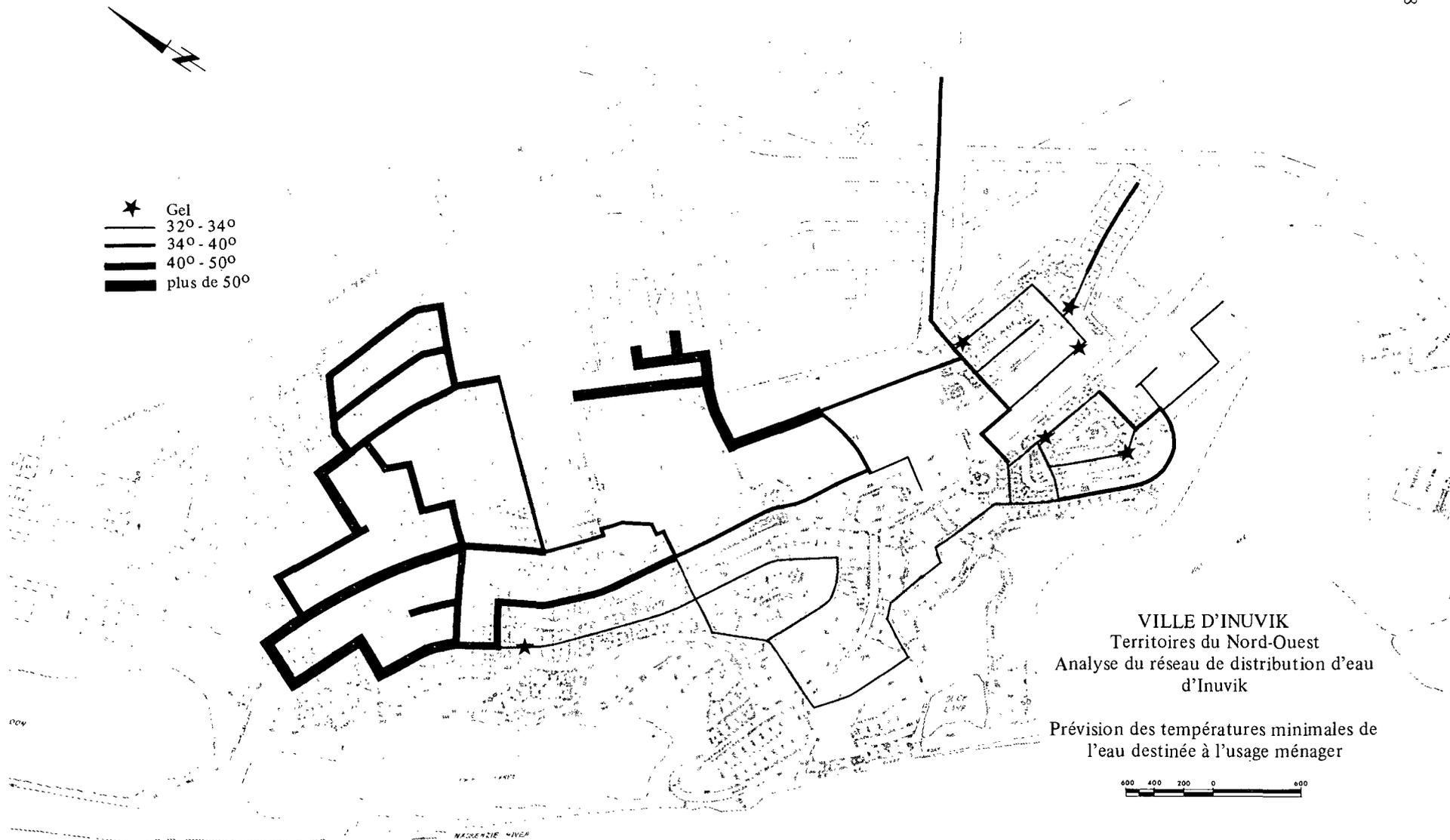


Figure 4 Prévision des températures minimales de l'eau destinée à l'usage ménager

D'autres facteurs susceptibles de faciliter l'interprétation sont la fluctuation constante de la demande et des conditions météorologiques (il faut se rappeler que chaque calcul informatique se fait à un niveau de demande fixe et pour une température extérieure déterminée), ainsi que la chaleur latente.

La quantité de chaleur latente relativement forte dégagée par l'eau perdant sa congélation (144 Btu/lb soit 334,8 J/g), fait du gel un processus lent à des températures (à l'intérieur de l'utilidor), qui ne sont pas très au-dessous du point de congélation, ce qui permet peut-être aux tuyaux de tenir de longues heures au cours d'une période froide, sans être entièrement bloqués par la glace. Un examen du taux de pertes de chaleur calculé pour les utilidors chauffés ayant des conduites EHT de moins de 76 mm de diamètre, des températures de l'air mesurées à l'intérieur de ces utilidors et, enfin, du taux de circulation dans certains de ces utilidors, indique une forte probabilité que de la glace se forme dans certaines conduites d'eau par temps extrêmement froid. S'il y a un gel partiel, la durée pendant laquelle l'embranchement affecté peut éviter le gel complet est uniquement fonction de la quantité de chaleur latente encore retenue (en supposant que la circulation ne cesse pas complètement, entraînant le blocage rapide par de la glace). Il est cependant probable que le blocage aura lieu longtemps avant que le gel soit total.

D'après les calculs, le chauffage de l'air intérieur est un moyen peu efficace d'assurer la protection contre le gel. La figure 5 montre le calcul de la répartition de la chaleur perdue par les conduites EHT, dans une section témoin d'utilidor chauffé. À une température ambiante de  $-37,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , le taux moyen de pertes de chaleur des conduites EHT dans la section d'utilidor choisie est de 140 Btu/h.pi (134,6 W/m). De cette quantité, quelques 3 Btu/h (0,88 W) représentent le gain du réseau de distribution tandis que les 137 Btu/h (40,14 W) (95 p. cent) restants se perdent dans l'atmosphère à travers les parois de l'utilidor. À titre de comparaison, le taux correspondant de pertes dans l'atmosphère à partir des utilidors non chauffés varie de 9 à 15 Btu/h (2,64 à 4,40 W) pour l'eau chauffée à  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

À partir des taux de pertes de chaleur indiqués à la figure 5, on estime que le taux annuel de déperdition de chaleur de la section type d'utilidor chauffé varie autour de 0,75 million de Btu/pi par an (82,30 W/m). En supposant un coût de combustible de \$0,70/gal (\$0,15/l) et un rendement de la chaudière de 90 p. cent, cela correspond à un coût de combustible de \$4,50/pi/année (\$14,76/m/année). Tel que mentionné auparavant, le taux de déperdition de chaleur à partir des utilidors non chauffés représente environ 6 à 10 p. cent des pertes de chaleur des utilidors chauffés.

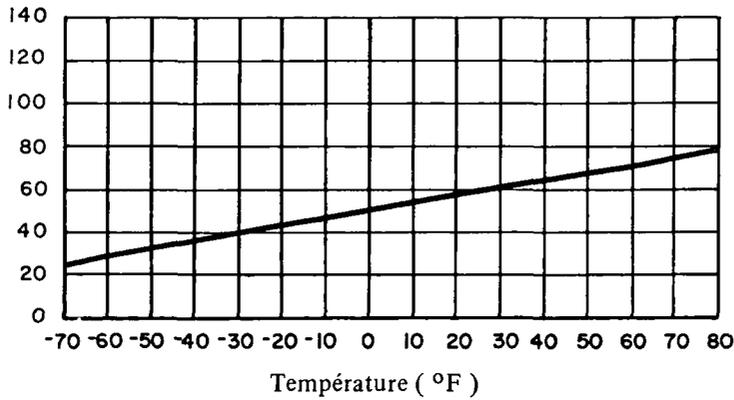
Tandis que la dispersion rapide de chaleur à travers les parois de l'utilidor en hiver rend inefficace le transfert de chaleur à l'eau domestique pendant la saison où ce transfert est nécessaire, c'est le contraire qui se produit en été. Si les températures d'hiver dans les utilidors chauffés sont situées au point de congélation ou au-dessous de celui-ci, pendant la période chaude elles se rapprochent des températures qui règnent dans un sauna, et le taux du gain de chaleur dans le réseau de distribution augmente proportionnellement. Les résidents desservis par des zones assez stagnantes du réseau se plaignent que l'eau du robinet d'eau froide est "trop chaude pour s'y baigner"; on dépense beaucoup d'eau (et de chaleur) en s'efforçant d'obtenir une température convenable pour l'eau potable.

À cause des incertitudes du calcul des températures dans les utilidors chauffés en toute saison, et par suite de l'incertitude concernant le degré de protection contre le gel possible en hiver, on a recommandé de surveiller la température du réseau à certains endroits précis.

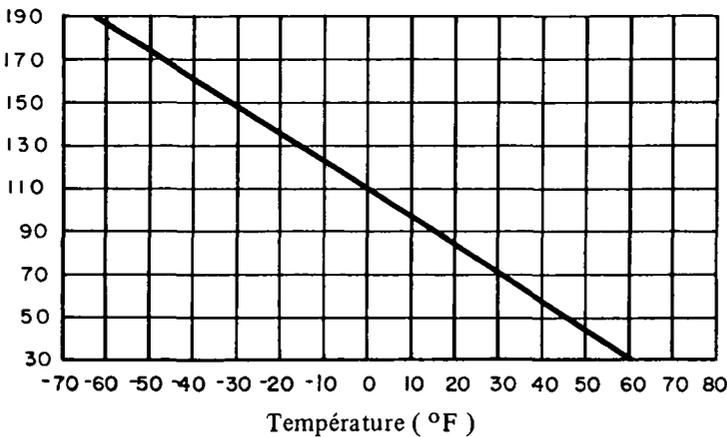
**Utilidors non chauffés.** — Les conduites principales de distribution d'eau dans les utilidors non chauffés sont conçues de manière à éviter le gel grâce à une combinaison d'isolant, de circulation d'eau et de chaleur ajoutée directement à l'eau domestique à certains endroits précis. Comme le montre la figure 3, l'analyse informatique indique que le débit dans tous les embranchements non chauffés, à l'exception d'un seul, se maintient à des niveaux supérieurs à 0,03 m/s pour tout l'éventail de niveaux de demande. La seule exception est la connection entre J74 et C11A, où une inversion de l'écoulement a lieu autour de la charge quotidienne moyenne. Nous discuterons plus tard du problème particulier de l'embranchement J74-C11A.

L'analyse informatique indique que les températures dans toutes les sections non chauffées du réseau restent dans une fourchette acceptable, à l'exception toujours du raccord J74-C11A, comme le montre la figure 4. Les données d'exploitation des échangeurs de chaleur, sur lesquelles s'appuient les calculs thermiques, ont été fournies par la Northern Canada Power Commission en l'absence de données sur le terrain. Cependant, il est intéressant de noter que les températures dans plusieurs boucles principales ne semblent pas descendre au-dessous de  $7\text{ à }13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dans les conditions normales. Si c'est bien le cas, il semblerait que les températures sont établies de façon à éliminer toute possibilité de gel sans qu'on songe à assurer une utilisation efficace de l'énergie. Les besoins en chauffage dans ces boucles pourraient être réduits de 50 à 70 p. cent si on équipait les échangeurs de chaleur de robinets régulateurs de débit.

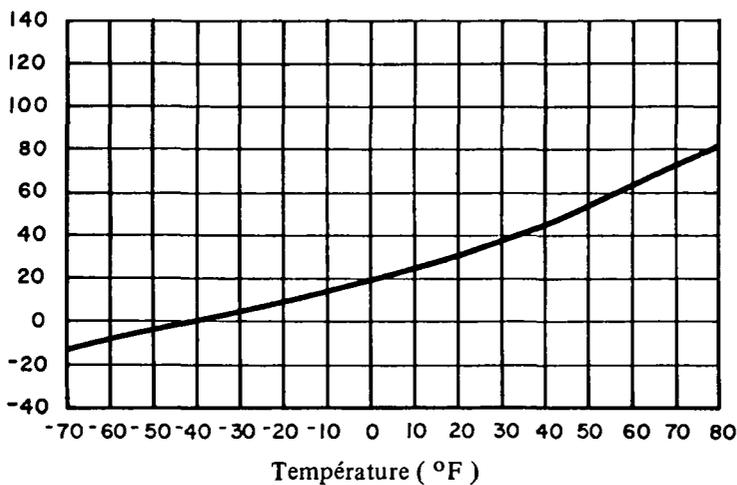
Température à l'intérieur de l'utilidor (°F)



Chaleur perdue par l'utilidor (BTU/h · pi)



Chaleur gagnée par la canalisation distributrice (BTU/h · pi)



Tous les graphiques s'appuient sur les données suivantes

- 1° Utilidor de type 1
- 2° Les dimensions du tuyau EHT varient de 1 1/4 po à 8 po, le tuyau utilisé est de 3 po
- 3° Les températures EHT varient de 270 °F à 350 °F, elles sont toutes utilisées
- 4° L'isolation autour des tuyaux EHT varie de 1 1/4 po à 8 po, on a utilisé 2 po
- 5° Les dimensions de la conduite distributrice varient de 6 po à 12 po, on a utilisé 8 po
- 6° La température de l'eau domestique varie de 32 °F à 40 °F, on a utilisé 35 °F
- 7° Les dimensions intérieures de l'utilidor sont de 3 pi 0 po × 3 pi 6 po, avec 3 po d'isolant en fibre de verre autour du tuyau
- 8° L'isolant des EHT court sur 39 pi pour 40 pi de tuyau
- 9° On a utilisé 50 °F comme température du collecteur d'égout.

Figure 5 Transfert de chaleur calculé, pour un utilidor chauffé témoin\*

\* Les unités de mesure sont telles que l'auteur les a présentées

Le bon fonctionnement du réseau dépend en très grande partie des connaissances de l'opérateur. L'installation d'appareils de surveillance de la température à des endroits choisis, combinée avec des robinets régulateurs de débit pour les échangeurs de chaleur, devraient permettre un contrôle plus grand du fonctionnement du système et une dépendance moindre vis-à-vis des opérateurs. En particulier, les données sur la température permettraient une gestion plus efficace du réseau.

**Usine de traitement de l'eau prévue pour Inuvik.** — En ce qui concerne la protection contre le gel, l'usine de traitement de l'eau prévue pour Inuvik aura pour effet d'assurer le chauffage central de toute l'eau destinée à la consommation domestique, avant sa distribution. Avant d'entreprendre l'analyse thermique, on avait espéré que le préchauffage réduirait de façon significative les risques de gel au centre-ville et aux environs, et qu'il résoudrait en particulier le problème déjà constaté au point C11A-J74. Or, l'analyse montre qu'un apport calorifique pénètre la zone du centre-ville, mais que malheureusement, l'écoulement est trop lent le long de la conduite C11A-J74 pour que cet embranchement en profite. Il faut en conclure que le préchauffage de l'eau à l'usine de traitement aura un impact au centre-ville, mais qu'il faudra une pompe de circulation au point J74 pour amener l'eau dans la direction de C11A, avec un débit suffisant.

On estime que le préchauffage de l'eau à l'usine de traitement réduirait légèrement la charge des échangeurs de chaleur du réseau. Ces réductions sont faibles parce que la plupart des échangeurs sont situés loin de l'usine de traitement. L'impact réel de l'usine se limiterait au centre-ville et aux zones scolaires, où les températures du réseau actuel restent dans la plage dangereuse de 0 à 1,1 °C. On prévoit une bonne amélioration dans cette zone. Cependant, les températures seraient encore dangereusement basses dans les utilidors chauffés à l'extrémité sud du réseau, c'est-à-dire les boucles au sud de J18 et J48.

## CONCLUSIONS

A. — En ce qui concerne le réseau d'utilidors d'Inuvik

- 1) La protection contre le gel des utilidors chauffés d'Inuvik peut être à peine suffisante pour des périodes prolongées de froid extrême.
- 2) Dans des conditions de température extrêmes, cette protection dépend en partie du niveau élevé de demande d'eau à Inuvik.
- 3) Les conduites distributrices dans les utilidors chauffés ne gagnent pas de chaleur lorsque le diamètre des conduites EHT est de 76 mm ou moins, et lorsque la température à l'extérieur est de - 40 °C.
- 4) Les tuyaux de distribution d'eau dans les utilidors chauffés ne récupèrent pas la chaleur des conduites EHT lorsque la température à l'extérieur est de - 51 °C.
- 5) La protection contre le gel des sections non chauffées du réseau de distribution est satisfaisante, dans les conditions d'exploitation actuelles et prévues, à l'exception de la section comprise entre J74 et C11.

B. — En ce qui concerne les techniques de protection contre le gel

- 1) La méthode de protection contre le gel consistant à chauffer l'intérieur d'un utilidor isolé au moyen de la chaleur perdue par le tuyau de chauffage est à la fois inefficace et difficile à contrôler.
- 2) La circulation forcée et l'addition de chaleur à l'eau domestique à des endroits précis du réseau, est une technique efficace et contrôlable de protection contre le gel.
- 3) Si l'on choisit soigneusement l'endroit où seront placées les pompes de circulation et les stations de chauffage, et si on sait composer l'agencement du réseau, l'utilisation d'un réseau à boucles multiples représente une technique commode de distribution d'eau pour les communautés du Nord.

SEPTIÈME SÉANCE  
APPLICATIONS INFORMATIQUES

RÉSEAUX DE CANALISATIONS DISTRIBUTRICES  
POUR LES LOCALITÉS DE L'ARCTIQUE

William James  
Département de génie civil  
Université de McMaster, Hamilton (Ontario)

Mark A. Robinson  
James F. MacLaren Ltd., ingénieurs-conseils  
Willowdale (Ontario)

**INTRODUCTION**

La conception des réseaux de canalisations (ou conduites) distributrices pour les localités arctiques doit tenir compte d'un certain nombre de facteurs d'ordre soit environnemental, soit économique : froid intense et prolongé, pergélisol, limitations d'espace, écoulement intermittent, tout un éventail de composantes spéciales, nécessité fréquente d'importer les matériaux, coûts d'énergie élevés ainsi qu'une large gamme de taux d'intérêts. De chaque ensemble de facteurs reliés au milieu ou à l'économie résultera un coût déterminé du réseau de canalisations et des installations connexes. De plus, pour un ensemble donné de facteurs, il n'existe qu'une seule combinaison d'éléments pour laquelle le coût du réseau est minimal.

Les méthodes traditionnelles de conception des réseaux de distribution, portant entre autres sur la taille des conduites et la capacité des pompes, adoptent rarement, sinon jamais, la solution optimale (c'est-à-dire le coût global, en capital et à l'exploitation, le moins élevé). Cet énoncé est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit d'une expansion progressive des réseaux existants.

Grâce à la disponibilité de programmes informatisés, il est maintenant facile d'analyser un réseau avec précision, moyennant un ensemble donné de demandes nodales, en quelques secondes à peine. Un réseau de canalisations satisfaisant aux exigences d'exploitation pourrait ainsi être conçu en un jour ou deux. À mesure que s'accroît la demande pour la modernisation et l'expansion des réseaux actuels, les concepteurs prennent de plus en plus conscience du fait qu'il faut optimiser les systèmes d'approvisionnement en eau. La construction des réseaux de distribution exige des investissements considérables en capital, les réseaux mal conçus, en plus d'augmenter cet investissement initial, entraînent également des frais d'exploitation excessifs.

Il existe plusieurs programmes sophistiqués permettant de trouver le réseau d'approvisionnement optimal. La plupart de ces programmes sont efficaces du point de vue des calculs, mais inefficaces du point de vue de l'utilisateur, car ils nécessitent un accès par lots à l'ordinateur. Ces programmes nécessitent une grande quantité de données d'entrée, qui doivent être sélectionnées, codées et communiquées à partir du bureau de calcul chaque fois qu'il s'agit de détecter les données erronées ou d'appliquer le programme. Cette tâche exige que l'ingénieur y consacre beaucoup de temps s'il veut trouver la conception optimale.

L'emploi de programmes fonctionnant en interaction et à temps partagé offre une solution aux deux problèmes essentiels du traitement informatique par lots que sont a) la longueur du temps d'apprentissage et b) la longueur du temps nécessaire pour la conception. Un programme fonctionnant en interaction fournit à l'utilisateur des résultats instantanément, il peut prendre des décisions immédiates et fournir les entrées supplémentaires pour compléter la conception d'un projet, ce qui entraîne normalement des économies de temps et d'effort considérables.

De plus, il se peut qu'une conception soi-disant définitive doive tout de même être modifiée à l'étape de la construction. Par exemple, un lot de tuyaux peut parvenir au site avec des pièces en trop ou en moins, à cause d'erreurs à l'expédition. On ne peut pas renouveler la commande et retarder la construction à cause des limitations de temps imposées par la sévérité du climat. Il suffirait alors que l'ingénieur chargé de la construction compose le numéro de téléphone approprié, qu'il branche l'écouteur sur un terminal portatif : il pourrait composer un nouveau modèle intégrant les modifications nécessitées par l'excédent ou le manque de pièces. La construction

n'aurait alors subi qu'un léger retard, et l'ingénieur aurait l'assurance que la construction continuera de satisfaire aux exigences de départ tout en restant économique.

Avec notre ensemble de programmes FASTPIPE, tout un éventail d'algorithmes qui, pris individuellement, aident à concevoir les réseaux de distribution, sont combinés et améliorés au moyen d'un logiciel interactif. Résultat: un ensemble de programmes rapide, efficace et facile à utiliser, capable de faire le calcul d'une conception optimale pour un réseau de canalisations de distribution, pour n'importe quelle région climatique du Canada.

### ALGORITHMES DE CALCUL

Dans les régions de pergélisol, on ne peut enfouir économiquement les pipelines à plus d'un ou deux mètres lorsque le sol est gelé en permanence. Il faut de plus utiliser des appareils et des matériaux visant à protéger les pipelines contre le gel et les ruptures possibles pendant les mois d'hiver.

Un ensemble général de conception exige, en plus d'un algorithme pour le calcul de la disposition optimale des tuyaux, un second algorithme qui évalue les dimensions optimales des appareils et matériaux assurant la protection thermique.

L'analyse du réseau est commune aux deux algorithmes. Un algorithme efficace et sûr, capable de traiter tout un éventail de composantes de pipelines, est un élément essentiel de tout procédé général de conception. Les trois algorithmes principaux sont décrits dans les sections suivantes.

**Analyse de la pression et du débit dans les réseaux de canalisations distributrices.** — Le programme adopté pour notre système a été mis au point, à l'origine, par le Département de génie civil de l'Université du Kentucky. Ce procédé permet d'inclure tout un éventail de composantes de pipelines, décrites au moyen d'équations non linéaires, sans exiger beaucoup de mémoire ou de temps d'ordinateur. Pour tout réseau de conduites comprenant un certain nombre de jonctions (J), points d'énergie terminale (TE), boucles primaires (PL) et tuyaux (P), la relation suivante est toujours vérifiée:

$$P = J + PL + TE - 1 \quad (1)$$

Pour chaque jonction, on peut formuler une équation de continuité:

$$Q_{IN} = Q_{OUT} \quad (\text{équations J}) \quad (2)$$

Pour chaque boucle, l'équation d'énergie s'écrit:

$$\sum_{i=1}^n h_{Li} = \sum_{i=1}^n E_{Pi} \quad (\text{équations PL}) \quad (3)$$

Lorsqu'il n'y a pas de pompe dans la boucle, l'équation (3) indique que la somme des pertes de charge autour de la boucle est de zéro. S'il y a des points TE d'énergie terminale, on peut formuler TE - 1 équation d'énergie pour le cheminement entre n'importe quelle paire de points d'énergie terminale:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n h_{Li} - \sum_{i=1}^n E_{Pi} \quad (4)$$

Les équations (2), (3) et (4) représentent un ensemble d'équations non linéaires simultanées; la solution de celles-ci donne une valeur de débit pour chaque tuyau. Afin de traiter les pertes de charge et les bornes de pompes non linéaires, on utilise un procédé de linéarisation pour établir des équations linéaires simultanées, qui peuvent être résolues au moyen de plusieurs méthodes matricielles.

L'algorithme mis au point pour effectuer ces calculs offre plusieurs avantages par rapport à la plupart des méthodes classiques et par rapport à beaucoup de solutions, pourtant plus sophistiquées, de l'ensemble complet d'équations non linéaires simultanées.

- 1) L'algorithme peut traiter n'importe quelle configuration du système (boucle ou embranchement).
- 2) On peut traiter toute une variété de composantes du réseau (pompes, réservoirs et clapets de retenue) sans augmenter la complexité des équations à résoudre
- 3) La réduction de l'ensemble d'équations non linéaires à un ensemble d'équations linéaires simultanées garantit qu'il y aura convergence vers une solution, dans tous les cas
- 4) On peut utiliser les unités anglaises ou métriques

**Conception optimale des réseaux de canalisations.** – On emploie un ensemble d'algorithmes développé par Nielson et Rauschenberger, ingénieurs-conseils danois, pour l'optimisation des réseaux de distribution d'eau (Rasmusen, 1976). Les algorithmes afférents à la procédure d'optimisation ont été isolés et intégrés aux algorithmes décrits ci-dessus

Étant donné que les débits à travers les tuyaux d'un réseau sont interdépendants, la grandeur optimale d'une canalisation ne peut être calculée sans tenir compte de l'ensemble du réseau

Chaque tuyau du réseau relie une paire de noeuds, il a une longueur  $L$  connue, un diamètre  $D$  et un coefficient de rugosité  $R$ . Chaque noeud du réseau est associé à une demande  $Q_j \geq 0$  ( $j = 1, \dots, J$ ), à une pression minimale de service  $H_j^{min} > 0$  et à une pression de service effective  $H_j \geq H_j^{min}$ . À chaque source d'approvisionnement on associe un débit fixe  $Q_k \leq 0$  ( $k = 1, \dots, S$ ) et une pression naturelle  $H_k^{nat}$ . Il faut remarquer que, conformément à cette convention de signes, toute évacuation est positive et tout approvisionnement (apport) est négatif

On peut exprimer le coût du réseau en tant que la somme de l'investissement initial en tuyauterie et du coût d'exploitation des pompes pendant la vie utile du réseau. On suppose que tous les coûts de canalisations doivent être exprimés sous forme de la valeur actuelle capitalisée, celle-ci étant fonction du seul diamètre du tuyau

$$CP_i = \Psi(D_i)$$

De même, le coût de l'énergie nécessaire au fonctionnement des pompes peut être exprimé sous forme de valeur actuelle capitalisée  $E_k$ , celle-ci représente le coût du levage d'une unité de volume d'eau sur une unité de longueur, par seconde et continuellement, pour toute la vie utile du réseau. Pour un ensemble donné de demandes nodales, on peut trouver la disposition optimale en minimisant la fonction objective suivante par rapport au diamètre

$$\text{Coût} = \sum_{i=1}^P CP_i L_i + \sum_{k=1}^S Q_k E_k (H_k - H_k^{nat}) \quad (5)$$

sous réserve des limitations suivantes

- 1) La continuité, l'évacuation à partir du noeud  $j$  doit être égale à la différence entre les débits entrant et sortant du noeud  $j$ .

$$Q_j = \sum_{i=1}^T Q_{ij} - \sum_{i=1}^F Q_{ij} \quad (6)$$

où  $T =$  nombre total de tuyaux déversant leur apport dans  $j$ ,  
 $F =$  nombre total de tuyaux emportant du fluide de  $j$ .

2) Les exigences minimales de pression:

$$H_j \geq H_j^{\min} \quad (j = 1, \dots, J) \quad (7)$$

3) Les conditions à la source d'approvisionnement:

$$H_k^{\text{nat}} \leq H_k \quad (k = 1, \dots, S) \quad (8)$$

où  $H_k^{\text{nat}}$  = la pression naturelle à l'entrée de la pompe.

4) La relation physique qui décrit l'écoulement dans un tuyau:

$$Q = \Phi (D, L, R, H_j, H_{j'}) \quad (9)$$

où  $j$  représente le noeud en amont du tuyau,

$j'$  représente le noeud en aval du tuyau.

Par exemple, si on utilise l'équation de Hazen-Williams:

$$Q = 1,318 C \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) \left( \frac{D}{4} \right)^{0,63} \left( \frac{H_j - H_{j'}}{L} \right)^{0,54} \quad (10)$$

l'équation (9) est non linéaire. Les coûts de pipelines sont aussi généralement non linéaires. Cependant, on peut réduire quelque peu la complexité du problème en se rappelant que seuls doivent être pris en considération les diamètres standards des fabricants.

La solution du problème comporte deux composantes distinctes: a) une analyse du réseau hydraulique qui peut être effectuée dès que l'on dispose d'un ensemble de demandes nodales et d'un réseau déterminé; b) la modification des diamètres jusqu'à obtenir une solution optimale. Cela exige une solution itérative pour laquelle on aura fixé les diamètres, effectué l'analyse hydraulique et modifié le diamètre jusqu'à obtenir une solution optimale. On obtient la disposition optimale en produisant une série de solutions toujours améliorées.

Lors de l'essai de plusieurs conceptions, on a constaté que le procédé d'optimisation fournissait des agencements dont le coût total était inférieur à celui de la disposition supposée au départ, pourvu que celle-ci ait été assez proche de la disposition optimale. Si la disposition supposée au départ est éloignée de la solution optimale, on ne réussit pas, dans de nombreux cas, à converger vers la disposition optimale. Des messages d'erreurs parviennent alors au terminal de l'utilisateur.

**Conception optimale du matériel et des mécanismes de protection contre le gel.** — On a incorporé des algorithmes permettant de calculer la grandeur optimale des dispositifs et matériaux destinés à empêcher les tuyaux de geler. Cela est nécessaire pour les réseaux enfouies dans le pergélisol ainsi que pour tous les réseaux aériens qui doivent fonctionner en hiver.

Plusieurs rapports (Grainge 1965, Heinke 1974 et Suk 1975) ont montré que le pompage intermittent comme système de distribution éliminait un certain nombre de désavantages liés aux autres systèmes. On utilise, pour le transport de l'eau, des tuyaux de faible diamètre, de 6 à 76 mm, qui sont pourtant suffisants parce que le volume d'eau distribuée n'est pas important, compte tenu des petites populations de chaque localité. Les canalisations sont équipées de rubans chauffants et sont isolées. Elles sont installées dans des tranchées peu profondes (jusqu'à 0,6 m), et recouvertes d'un matériau de remblayage qui les protège contre tout dommage par les véhicules.

Le réseau d'approvisionnement intermittent (par impulsions), fonctionne selon un cycle bien défini chaque fois qu'il s'agit de diriger un volume d'eau vers les habitations de la localité. Initialement, les tuyaux contiennent une petite quantité résiduaire de glace et d'eau, mais pas en quantité suffisante pour endommager les tuyaux

lorsqu'il y a gel. De la chaleur est diffusée à la surface des tuyaux, sous forme de courant électrique, par l'intermédiaire du ruban chauffant, jusqu'à ce que la surface du tuyau atteigne une température légèrement supérieure à 0 °C. De l'eau sous pression est alors pompée pour le remplissage des réservoirs de stockage situés dans chaque habitation. Lorsque tous les réservoirs sont pleins, la pompe s'arrête et l'air comprimé dans des contenants spéciaux (ou d'autres réservoirs) chasse l'eau restante du réseau. Des robinets de vidange installés à tous les points d'évacuation s'ouvrent lorsque le pompage cesse. Dès que la plus grande partie de l'eau restante a été chassée, on coupe l'électricité et le tuyau vide reste tel quel, sans risque de gel, jusqu'à ce qu'il devienne nécessaire de remplir à nouveau les réservoirs.

Le système d'approvisionnement intermittent offre plusieurs avantages importants. Pour commencer, il fournit un approvisionnement adéquat en eau propre. L'eau n'est pas touchée jusqu'à ce qu'elle soit livrée au réservoir; aucune pollution ne peut se produire en chemin. L'enfouissement peu profond des tuyaux est peu coûteux, n'entrave pas le système routier de la localité et offre une grande facilité d'accès pour les réparations et l'entretien. Puisque le système ne fonctionne pas de façon continue, les coûts d'exploitation sont inférieurs à ceux des systèmes d'approvisionnement continu ou les réseaux d'utilidors. La conception d'un réseau qui soit protégé contre les risques de gel exige l'optimisation des points suivants: a) épaisseur de l'isolant; b) capacité du ruban chauffant; c) temps de chauffage du système. Ces trois éléments sont à ce point liés entre eux que toute modification concernant l'une des variables implique de nouveaux calculs touchant les deux autres variables, si l'on veut maintenir les exigences du service. Un ruban chauffant plus puissant permet d'amener le réseau à la température de fonctionnement plus rapidement, réduisant ainsi le temps pendant lequel de la chaleur est perdue. Un ruban chauffant très puissant utilise plus d'énergie électrique, pendant une période plus courte, qu'un ruban plus faible. Cependant, un ruban de faible puissance exige un investissement en capital moindre. Pour la conception optimale il faut trouver l'équilibre entre ces deux extrêmes. Un isolant épais exige davantage de chaleur et donc de puissance pour atteindre la température de fonctionnement du système; mais pour réduire les pertes de chaleur il est beaucoup plus avantageux qu'un matériau trop mince. Là encore, il faut trouver l'équilibre entre les deux extrêmes. Enfin, le choix de la capacité du ruban chauffant et de l'épaisseur de l'isolation thermique exige que l'ensemble du réseau atteigne la température de fonctionnement voulue dans le temps de chauffage optimal. Afin d'obtenir un réseau d'un coût annuel minimal, il faut établir l'équilibre entre les variables qui président à la prise de décision.

L'algorithme recherche une combinaison de paramètres du réseau produisant un coût annuel global minimal, en essayant toutes les combinaisons touchant l'épaisseur de l'isolant et la puissance électrique du ruban chauffant pour chaque tuyau, et pour chaque temps de chauffage. On a prévu deux options concernant le temps de chauffage. Dans la première, chaque tuyau du réseau est considéré comme faisant partie d'un circuit séparé. Les tuyaux ayant le plus grand diamètre exigent le temps de chauffage le plus long et sont donc actionnés en premier, suivis des tuyaux ayant le diamètre immédiatement inférieur, et ainsi de suite. L'échéancier d'actionnement des tuyaux est tel que tous les tuyaux atteignent la température de fonctionnement du réseau au même moment. On ne calcule donc pas un temps de chauffage optimal; on lui affecte plutôt une valeur "factice" afin de satisfaire aux besoins du programme. Dans la seconde option, le chauffage de tous les tuyaux débute simultanément. Dans ce cas, on calcule le temps de chauffage optimal du réseau.

En termes généraux, la fonction objective vise à "réduire au minimum la somme des intérêts annuels du capital emprunté et des coûts annuels d'exploitation". L'investissement initial comprend le coût des canalisations (isolées) et celui du ruban chauffant. Les coûts d'exploitation comprennent le coût de l'énergie pour le ruban chauffant ainsi que toutes les pompes et l'entretien des systèmes, que l'on suppose représenter un pourcentage du coût total en capital du système (Heinke, 1974). La fonction objective est sujette aux limitations suivantes: a) d'une part, le taux des pertes de chaleur du liquide transporté dans un tuyau ne doit pas dépasser la puissance électrique du ruban chauffant; d'autre part, le temps nécessaire pour amener le tuyau à la température de fonctionnement ne doit pas dépasser le temps de chauffage prévu. On ne conserve chaque fois que l'ensemble de variables de calcul optimales le plus récent. Chaque fois que l'on trouve une solution améliorée, on élimine la solution antérieure. Cette approche est nouvelle dans la mesure où l'optimisation s'appuie sur le coût annuel global plutôt que sur l'investissement initial total. Ce qui présente un certain avantage pour les petites localités arctiques où le conseil municipal ne dispose souvent que d'un budget limité. Un système évalué sur la base du coût annuel fournit au conseil un aperçu des responsabilités qu'il devra assumer et il peut alors déterminer si la municipalité peut se permettre d'acquiescer le réseau.

L'algorithme manque quelque peu d'efficacité dans la mesure où le coût de chaque combinaison de variables de décision doit être calculé et vérifié. Cependant, il est difficile de trouver la solution optimale par d'autres méthodes parce que chaque matériau ou appareil n'est disponible qu'en dimensions discrètes.

### **UTILISATION DE PROGRAMMES INFORMATIQUES POUR LA CONCEPTION DES RÉSEAUX DE CANALISATIONS**

**Conception en interaction avec l'ordinateur.** — Tous les résultats de conception sont présentés sous une forme compréhensible et restent disponibles pour consultation au terminal. L'utilisateur du programme n'a pas à faire face aux énormes quantités de données générées par l'ordinateur central. Il reçoit au terminal suffisamment d'information pour pouvoir poser des questions, prendre des décisions et fournir des renseignements.

Le recours à l'ordinateur permet au concepteur de mettre au point un réseau de canalisations: à chaque étape du projet, il reçoit sur demande une information précise tout en conservant la liberté de changer la séquence à n'importe quel moment pendant le processus de conception. La part de l'utilisateur du programme consiste à fournir l'une des entrées ou commandes suivantes:

- a) introduire un chiffre;
- b) introduire OUI ou NON; ou
- c) introduire l'une des commandes suivantes: CHANGEMENT, STADE, FIN.

Les règles du jeu sont les suivantes:

- a) la manière correcte d'introduire les données est indiquée sur l'écran avant chaque instruction;
- b) la quantité d'information affichée à tout moment est limitée (les instructions affichées sur l'écran sont aussi brèves que possible sans cependant porter atteinte à leur clarté);
- c) les réponses que l'utilisateur doit fournir sont brèves, ce qui permet d'éviter l'ambiguïté;
- d) l'ordinateur réagit lors de chaque entrée (il y a un signal indiquant que l'information donnée par l'utilisateur a été lue et assimilée);
- e) le programme exécute automatiquement des procédures de détection et de correction des erreurs pour vérifier chaque donnée d'entrée.

**Procédé de mise au point du réseau de canalisations optimal.** — Notre système de conception par ordinateur comprend deux programmes distincts:

1) NETWORKOPTIMIZE (NETOPT). — Conception en interaction de réseaux de distribution efficaces, fonctionnant dans des conditions de régime permanent. Le coût total du réseau représente le coût des canalisations, exprimé en fonction du diamètre, plus le coût d'installation et d'exploitation des pompes pendant la vie utile du réseau, exprimé en fonction de la puissance de pompage. Le programme calcule le diamètre optimal pour chaque section du réseau de façon à minimiser le coût total en capital (investissement initial plus les frais d'exploitation ramenés à une valeur actuelle capitalisée équivalente), du réseau.

2) ARCTIC. — Conception en interaction avec l'ordinateur de réseaux à alimentation en eau continue ou intermittente. Étant donnée la configuration du réseau et un ensemble de diamètres de tuyaux, le programme évalue le temps nécessaire pour porter la température du réseau jusqu'à la température d'exploitation, l'épaisseur optimale de l'isolant ainsi que la puissance nécessaire au ruban chauffant pour maintenir la température de fonctionnement. Les valeurs optimales sont calculées de façon à réduire au minimum le coût annuel global (remboursement du capital emprunté plus les frais annuels d'exploitation). Le recours répété à ARCTIC avec toute une gamme de durées de pompage permet à l'utilisateur de déterminer une durée de pompage optimale en comparant les coûts globaux annuels des diverses options.

Chacun des deux programmes est conçu de façon à pouvoir fonctionner indépendamment de l'autre. Cependant, la manière dont il faut utiliser l'ensemble dépend de la nature du problème de conception auquel on fait face. Lorsqu'il s'agit de concevoir un réseau de distribution pour une région où l'on peut, économiquement, enfouir les pipelines pour les protéger contre le gel, NETWORKOPTIMIZE suffit. La fonction "coût du tuyau" est déterminée par les frais de matériaux et d'installation des tuyaux non isolés; l'ensemble optimal des diamètres des sections du réseau est calculé à partir de cette fonction.

Supposons qu'un réseau de canalisations doive être construit dans une région de pergélisol ou une région où il existe des possibilités de gel. Si le diamètre de chaque section a été fixé, il suffit d'appliquer le programme ARCTIC pour déterminer l'épaisseur optimale de l'isolant et la puissance du ruban chauffant pour chaque tuyau, ainsi que le temps optimal de chauffage du réseau.

Cependant, lorsqu'il s'agit de la conception globale d'un nouveau réseau dans une région de pergélisol (diamètre des sections et mécanisme de protection contre le gel), il devient nécessaire de faire appel aux deux programmes: ARCTIC et NETWORKOPTIMIZE. Ils peuvent agir en interaction d'une double façon. S'il ne faut pas optimiser le temps de chauffage du réseau, les tailles optimales des matériaux et de la protection thermique des tuyaux, ainsi que les coûts reliés, sont fonction uniquement du diamètre du tuyau. Dans ce cas, on utilise d'abord ARCTIC pour déterminer une épaisseur d'isolant et une puissance du ruban chauffant optimales pour un diamètre de tuyau donné, indépendamment de sa longueur ou de sa position dans le réseau. On utilise le programme NETWORKOPTIMIZE avec une fonction coût du tuyau (comprenant le coût unitaire en capital des canalisations, des matériaux d'isolation et du ruban chauffant ainsi que le coût annuel de l'énergie nécessaire au chauffage électrique, réduits à une valeur actuelle capitalisée), pour déterminer l'ensemble optimal de diamètres de tuyaux.

La seconde possibilité consiste à calculer l'ensemble optimal des diamètres de tuyaux à partir de la configuration du réseau et d'une fonction coût du tuyau (correspondant au coût du tuyau à nu), considérées comme entrées du programme NETWORKOPTIMIZE. Puis on recourt à ARCTIC pour calculer l'épaisseur optimale d'isolant et la capacité optimale du ruban chauffant, pour chaque tuyau du réseau. Lorsqu'il faut calculer un temps de chauffage optimal ou si les traits distinctifs du milieu varient dans l'espace occupé par le réseau, l'épaisseur optimale de l'isolant et la puissance du ruban chauffant ne sont plus fonction uniquement du diamètre. Il est alors correct d'utiliser NETWORKOPTIMIZE avant ARCTIC. Lorsqu'il ne faut pas calculer un temps optimal de chauffage du réseau et qu'il n'y a pas variation des conditions environnementales, la situation est identique à la première combinaison des deux programmes. Cependant, l'approche consistant à appliquer NETWORKOPTIMIZE d'abord et ARCTIC ensuite serait encore valable si l'on tenait compte de la possibilité d'un choc en retour du coût unitaire de l'isolation thermique sur la fonction coût du tuyau. À partir d'un ensemble initial de diamètres de tuyaux et d'une fonction coût déterminée par le coût des tuyaux dégarnis, NETWORKOPTIMIZE calcule un ensemble optimal de diamètres à utiliser comme entrées du programme ARCTIC. L'épaisseur optimale de l'isolant et la capacité optimale du ruban chauffant sont calculées pour chaque tuyau; leur sont associés des coûts unitaires affectant la fonction coût utilisée comme entrée du programme NETWORKOPTIMIZE. Il faut répéter deux fois ou plus le procédé, jusqu'à ce que l'ensemble optimal de diamètres  $D^*$  converge.

**Conception de la disposition optimale du réseau de Broughton Island.** — Le réseau de canalisations distributrices de Broughton Island a été conçu de façon à suivre le tracé des routes de cette localité. On a choisi les points de vidange et on a décidé de commencer par rechercher la meilleure disposition du réseau, puis d'équiper les tuyaux du réseau de ruban chauffant et d'une épaisseur convenable d'isolant. À cette fin, on a dû appliquer d'abord le programme NETWORKOPTIMIZE.

Le réseau a une seule source d'approvisionnement, un réservoir d'eau. Il comprend 31 tuyaux, 25 jonctions et 6 boucles principales. L'élévation de la ligne de niveau hydraulique est connue et établie pour un seul endroit, au réservoir de stockage.

On a tenu compte de la présence d'une école et d'une infirmerie, mais les installations de buanderie et de douches n'ont pas été prises en compte dans la conception puisque ces services seront probablement assurés par une canalisation séparée.

On a convenu de maintenir une pression de service minimale d'environ 220 kPa à chaque jonction. La pression et les débits n'ont pas été conçus de façon à satisfaire aux normes du débit requis en cas d'incendie. Advenant un incendie entre deux pulsations successives, le réseau serait actionné avant d'atteindre la température d'exploitation, le débit étant alors suffisant pour empêcher le gel. Étant donné que les habitations sont en bois dans la région, une lutte efficace contre l'incendie exige une réaction très rapide. Pour les petits incendies, on a prévu des extincteurs chimiques.

On a utilisé une gamme de durées de pompage (8, 10, 12, 15 et 20 heures), pour satisfaire aux demandes nodales. On a calculé un réseau optimal pour chaque durée de pompage et le temps de pompage retenu a été celui du réseau dont le coût annuel était le plus bas.

Les canalisations distributrices peuvent être en cuivre, en chlorure de polyvinyle (CPV), ou en acier. Chacun de ces matériaux a des avantages et des inconvénients. Les tuyaux en cuivre sont durables et à l'épreuve de la corrosion. Cependant, c'est le matériau le plus lourd des trois et il exige donc plus de chaleur pour que la température de la surface atteigne le niveau d'exploitation. Les tuyaux en CPV sont légers et à l'épreuve de la corrosion, mais leur durabilité laisse à désirer, surtout dans les milieux froids où ces tuyaux deviennent cassants. L'acier est plus léger que le cuivre, mais il présente des risques de corrosion. Puisqu'il est souvent difficile d'obtenir des fonds

pour remplacer les tuyaux usagés, on a décidé, pour ce projet, d'utiliser des tuyaux en cuivre, estimant qu'ils auraient la vie utile la plus longue. On a supposé pour les calculs une durée de 15 ans. Cette vie utile limitée, au stade du calcul, tient compte des conditions climatiques sévères auxquelles seront exposés les tuyaux; elle s'appuie sur les normes danoises pour le Groenland.

À Broughton Island, l'électricité coûtait environ 18 cents par kilowatt-heure en 1976. Lorsque les frais d'exploitation sont substantiels à cause d'une consommation élevée d'électricité, la valeur effectivement allouée au coût de l'électricité devient critique.

Le taux de l'intérêt à payer sur le capital emprunté est lui aussi très variable. Un projet parrainé par le gouvernement, tel que ce projet de réseau, est normalement financé par une émission d'obligations, et le taux d'intérêt (si ces obligations étaient émises en 1976), est d'environ 8,25 p. cent. Afin de permettre une comparaison valable des diverses possibilités, nous avons maintenu constante cette valeur pour toutes les options examinées.

La différence entre le coût total du réseau dans sa configuration de départ et dans sa disposition optimale, pour une durée de pompage de 20 heures, était d'environ \$8 400 en faveur de la disposition optimale, d'un coût approximatif de \$19 900.

**Puissance électrique et isolation thermiques optimales pour le réseau de Broughton Island.** – Au stade final de la conception du réseau de distribution de Broughton Island, on a eu recours au programme ARCTIC pour sélectionner la puissance du ruban chauffant et l'épaisseur de l'isolant, pour chaque tuyau et pour chaque durée de pompage. Le chauffage a été synchronisé de façon à ce que tous les tuyaux atteignent la température d'exploitation au même moment. Une valeur "factice" de 6 heures a été incluse dans les données d'entrée afin de satisfaire aux exigences de la programmation.

La consommation d'eau par habitant, en 1976, a été d'environ 9,1 l par jour. On a décidé d'améliorer le niveau du service en le faisant passer à 45,5 l par personne et par jour.

Il existe tout un éventail d'isolants moulés pour la protection contre le gel. Ils comprennent le polyuréthane, la fibre de verre et la mousse de styrène. Dans le choix du matériau isolant, il faut tenir compte des facteurs suivants:

- a) conductivité thermique de l'isolant;
- b) gamme de températures et conditions environnementales auxquelles sera soumis le matériau isolant;
- c) degré de dilatation et de contraction thermiques que devra subir le matériau ainsi que son degré de flexibilité;
- d) coût en capital et facilité d'installation;
- e) vie utile prévue.

Pour le projet de Broughton Island, on a choisi un isolant en polyuréthane rigide. Celui-ci a l'une des conductivités thermiques les plus faibles de tous les matériaux isolants vendus sur le marché. Le polyuréthane est léger; malgré sa grande résistance, il reste assez souple dans des conditions de froid intense. Le plus grand attrait de ce matériau est qu'il peut être moulé sur le tuyau en usine, ce qui revient beaucoup moins cher que d'appliquer sur place l'isolant. La vie utile de l'isolant devrait être de dix ans; on s'appuie, là encore, sur l'expérience du Groenland.

On a supposé cinq habitants pour chaque habitation. On a estimé à 1,5 h le temps nécessaire pour évacuer l'eau du réseau.

Pour un tuyau de 13 mm de diamètre, recouvert d'un isolant en polyuréthane de 19 mm d'épais, enfoui à une profondeur de 0,46 m dans un sol sablonneux et exposé à des vents d'une vitesse de 32 km/h à -45,5 °C, le gel complet de la conduite d'eau mettrait 2,1 heures à se produire. On estime donc qu'il suffirait d'allouer 1,5 heure à l'évacuation, dans les circonstances normales. Aux fins du calcul thermique, on a supposé que 10 p. cent du volume intérieur du tuyau contiendrait de l'eau résiduelle.

On a retenu 4,5 °C comme température d'exploitation. Cela permet d'obtenir une marge de sécurité de 4,4 degrés, bien supérieure à celle en usage au Groenland. Distribuer l'eau à une température de moins de 4,5 °C augmenterait les risques de gel de la robinetterie et autres raccords.

Pour déterminer le facteur de sécurité relatif à l'approvisionnement résidentiel, on a supposé que seulement 80 p. cent de l'eau du réservoir de stockage seraient utilisés avant la prochaine impulsion. On a supposé également que les tuyaux seraient placés dans une tranchée à environ 0,46 m, et qu'ils seraient recouverts de sable, ce qui

permettrait de protéger et d'isoler le pipeline. Dans le cadre de cette étude, on a utilisé une période hivernale de 9 mois, au cours de laquelle la température moyenne varie de  $-45,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $-7,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , c'est la période au cours de laquelle un chauffage par ruban électrique serait nécessaire. Au cours des 3 mois restants, chaque année, le réseau pourrait fonctionner avec un système de recirculation, il est probable que l'approvisionnement en eau se ferait directement à partir de la rivière Kuruluk, qui passe non loin du site du réservoir.

L'optimisation a été calculée pour les 5 épaisseurs d'isolant à l'essai (13, 19, 25, 38 et 51 mm) et pour dix puissances de ruban chauffant (0,6, 0,9, 1,2, 1,5, 1,8, 2,1, 2,4, 2,7, 3,0 et 3,7 W/m). Lorsqu'il est impossible d'obtenir sur le marché toute la gamme des dimensions, celles qui auront servi de données d'entrée pour le programme devront être ajustées en conséquence. Les diamètres optimaux des tuyaux, calculés par le programme NETWORKOPTIMIZE, servent à organiser l'agencement du réseau.

La disposition originale était conçue de façon à ce qu'une pression minimale de 220 kPa soit assurée à chaque jonction dans les conditions normales d'exploitation. D'après les résultats de l'analyse, on pourrait réduire les pertes de charge en augmentant le diamètre de la conduite d'alimentation. On pourrait ainsi augmenter la pression d'exploitation dans tout le réseau moyennant seulement une petite augmentation des coûts. Cette option illustre bien le fait qu'une conception effectuée à l'aide de l'ordinateur devrait toujours être complétée par le jugement des ingénieurs.

On a constaté que l'équilibre optimal entre le coût annuel de l'énergie et l'investissement initial (intérêts annuels du capital emprunté), était réalisé avec une durée de pompage de dix heures. Le système optimal exigeait une *impulsion d'approvisionnement tous les quatre jours pour satisfaire à une demande de 45,5 l/d par personne*, en supposant 5 occupants par habitation. Le réseau optimal exigeait une épaisseur d'isolant de 13, 19 ou 25 mm selon le diamètre du tuyau. La puissance des rubans chauffants devait être de 0,6, 1,2 ou 1,5 W/m sur tout le réseau, à l'exception de la conduite d'alimentation, qui exigeait du ruban à 2,7 W/m. Le temps de chauffage variait de 0,6 à 3,6 heures, selon le diamètre du tuyau, l'épaisseur de l'isolant et la puissance électrique du ruban chauffant.

Ayant sélectionné l'épaisseur de l'isolant et la puissance du ruban chauffant pour les principales canalisations du réseau, on s'est tourné vers les canalisations de branchement, c'est-à-dire les tuyaux qui transportent l'eau vers les réservoirs de stockage. On a supposé que ces tuyaux auraient un diamètre de 6 mm et une longueur de 4,6 m. 80 habitations représentaient 366 m de canalisations de branchement de 6 mm. L'isolant devait être de 13 mm, le ruban chauffant, de 0,6 W/m.

Le tableau 1 montre la relation entre le coût du réseau et la durée de pompage. Les coûts sont au minimum lorsque la durée de pompage est de 10 heures. Il y a irrégularité lorsque la durée de pompage est de 15 heures. Comme la demande s'est accrue de 50 p cent par rapport à la durée de 20 heures, des tuyaux de plus fort diamètre sont nécessaires, ce qui se reflète dans l'augmentation du coût total en capital. De plus, une durée de pompage de 15 heures exige que le ruban chauffant soit actionné pendant une période assez prolongée, ce qui se reflète encore dans les frais annuels de consommation d'électricité. Si les durées de 15 et 20 heures ont des coûts comparables, celles de 10 et 15 heures ont par contre des valeurs très différentes. Ainsi, exiger des diamètres de tuyau plus grands et des temps de chauffage dépassant les durées de 10 et 20 heures donne une apparence irrégulière au coût total annuel pour une durée de pompage de 15 heures.

#### **EVALUATION PAR ORDINATEUR DU SYSTÈME DE CONCEPTION DE RESEAUX DE CANALISATIONS**

Le temps global de traitement, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre la préparation, la soumission des données d'entrée et la sortie des détails définitifs de la conception, représente peut-être la mesure la plus importante de l'efficacité d'un programme. Au cours du traitement informatique par lots, il faut investir beaucoup d'heures, voire même des journées entières, pour perfectionner une conception jusqu'à obtenir la solution satisfaisante. À l'aide de l'ordinateur, la conception optimale d'un réseau de distribution peut être trouvée en 15 minutes ou 1 heure, selon la complexité du réseau. Bien sûr, ce temps ne comprend pas le travail d'obtention des données à partir des cartes et des documents originaux. On économise du temps en transmettant directement au terminal les valeurs calculées afin de pouvoir prendre des décisions immédiates. On a éliminé les retards dans l'obtention des données essentielles, réduisant ainsi au minimum le temps passé à trier dans des lots de sortie trop considérables.

Dans le présent exposé, l'accent a été mis sur la conception d'un réseau de distribution à moindre coût. Il était donc essentiel de tenir compte également de l'aspect économique de la conception à l'aide de l'ordinateur. On a constaté que le coût du calcul de la conception complète d'un réseau de distribution pour une localité arctique varie de \$5 à \$10, selon la complexité du réseau et les frais informatiques unitaires du système d'ordinateur. On a constaté également que l'on pouvait réduire considérablement les frais de traitement informatique en effectuant les changements en direct, par un procédé d'analyse continue, grâce à l'élimination du traitement des données déjà utilisées et qui ne sont plus nécessaires à un stade de conception plus avancé, ce qui ne saurait être si le programme fonctionnait par lots. Les économies réalisées ainsi peuvent être de plusieurs dollars par essai. Ainsi, s'il fallait faire quatre ou cinq essais pour formuler une solution acceptable au moyen du traitement par lots, les seules économies réalisées ainsi couvriraient le coût total d'un traitement en interaction avec l'ordinateur.

Les frais du concepteur sont cependant plus élevés que le coût du traitement informatique. L'utilisation du programme dans le mode de traitement par lots peut exiger une journée de travail, selon l'efficacité du concepteur. On a constaté qu'on pouvait économiser quelque 85 p. cent du temps total nécessaire en utilisant le système interactif. Le coût de cette différence de temps peut être assez considérable, tant pour le conseiller que pour le client.

En résumé, nous avons trouvé que le temps de conception, y compris le temps de l'utilisateur ainsi que la durée du programme peuvent être réduits de manière considérable en utilisant une approche informatique interactive. Ainsi, l'échange concis est clair entre l'ordinateur et son utilisateur permet de réduire le temps de travail du concepteur, minimise les possibilités d'erreurs, accroît la confiance des utilisateurs et encourage l'étude de conceptions différentes. On a constaté également qu'on pouvait mieux assurer la convergence vers une conception finale en transmettant au terminal uniquement les sorties clés.

Tableau 1 Comparaison des coûts d'un réseau optimal à Broughton Island

Durée de pompage (heures)	Coût total en capital \$	Intérêts annuels du capital emprunté \$	Coût annuel de l'électricité \$	Coût annuel total \$
8	86 349	10 243	7 788	19 825
10	84 404	10 012	7 784	19 550
12	84 404	10 012	8 827	20 593
15	84 337	10 004	10 265	22 022
20	76 777	9 107	10 144	20 847

## CONCLUSION

Deux nouveaux programmes fonctionnant en mode interactif et dialogué ont été mis au point pour la conception des réseaux de distribution d'eau. Ils semblent plus efficaces, plus faciles à utiliser et moins coûteux que les programmes similaires fonctionnant selon le mode de traitement par lots. On peut utiliser les programmes interactifs décrits dans cet article pour concevoir toute une série de réseaux de distribution ou pour évaluer les effets qu'aurait pu avoir sur un résultat antérieur le changement d'un ou de plusieurs paramètres de calcul. Le système s'est révélé à même de fournir la conception d'un réseau optimal (pour une localité dans l'Arctique canadien et une autre dans le sud de l'Ontario), pour n'importe quelle configuration de réseau et pour un vaste éventail de composantes de pipelines. De toute évidence, l'intégration d'un logiciel interactif et dialogué à des programmes efficaces permettant de faire des analyses hydrauliques et économiques a produit un ensemble sûr, polyvalent et facile à utiliser. Cependant, les programmes n'éliminent pas la complexité des réseaux de canalisations et les utilisateurs doivent, bien sûr, être des ingénieurs hydrauliques compétents.

Ce système informatique s'obtient localement pour des terminaux équipés d'une ligne téléphonique, par l'intermédiaire d'un réseau d'ordinateurs commerciaux, dans la plupart des villes nord-américaines. Toute question à ce sujet sera la bienvenue et devra être adressée au principal auteur de cet article.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Grange, J.W., *Insulation of Water and Sewer Pipelines in Northern Regions*, Department of National Health and Welfare, Public Health Engineering Division, Edmonton, 17 pages, 1965
- Heinke, G.W., *North of 60 Report on Municipal Services in Communities of the Northwest Territories NSRG 73-1*, ministère des Affaires indiennes et du Nord, publication d'Information Canada n° QS-1323-000-EE-A1, Ottawa, 168 pages, 1974
- Rasmusen, H.J., *Simplified Optimization of Water Supply Systems*, *Journal of the Environmental Engineering Division ASCE*, 102 (EE2) pp 313-327, 1976
- Suk, R., *Water Resources Development for High Arctic Communities*, thèse de maîtrise en génie, McMaster University, Hamilton, xi plus 126 pages, 1975

### LISTE DES SYMBOLES UTILISÉS

Voici une liste alphabétique des symboles utilisés dans le présent exposé, avec leur signification et, le cas échéant, les unités anglaises et métriques.

$C_H$	Coefficient de rugosité de Hazen-Williams
CP	Valeur actualisée du coût du tuyau, par unité de longueur
D	Diamètre du tuyau (p1, m)
E	Valeur actualisée d'une source permettant de lever une unité de volume d'eau sur une unité de longueur, par seconde, de façon continue tout au long de la vie utile du réseau
$E_p$	Énergie qu'une pompe ajoute au liquide (p1, m)
$h_L$	Perte de charge totale dans un tuyau (p1, m)
H	Élévation réelle de la surface de pression à un noeud (p1, m)
$H^{min}$	Pression de service minimale nécessaire à un noeud
$H^{nat}$	Pression d'aspiration de la pompe à une source
J	Nombre total de jonctions dans le réseau
L	Longueur du tuyau (p1, m)
n	Nombre de tuyaux dans une boucle ou sur un trajet
P	Nombre total de tuyaux dans le réseau
PL	Nombre de boucles primaires dans le réseau
Q	Débit (p1 <sup>3</sup> /s, m <sup>3</sup> /s)
R	Rugosité du tuyau
S	Nombre total de sources dans le réseau
TE	Nombre total de points terminaux d'énergie dans le réseau
$\Delta E$	Différence d'énergie
$\phi \psi$	Indiquent des fonctions

## HUITIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### UN RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU POUR LA PLUS AU NORD DES LOCALITÉS PERMANENTES QUI EXISTENT DANS LE MONDE

Capitaine T.M.Y. Chong (ingénieur) et MWO K.T. Mattes  
Première unité du Génie de construction mécanique  
Forces armées canadiennes

L'approvisionnement en eau potable des collectivités isolées du Nord pose depuis toujours des problèmes aux ingénieurs municipaux. La sévérité et la longueur de la saison froide, le manque de personnel qualifié, présentent des difficultés particulières qu'on ne rencontre généralement pas dans le Sud. Ce document constitue une étude de cas: celui d'un nouveau réseau d'alimentation en eau, conçu et construit avec succès à la station Alert des Forces canadiennes, qui se trouve être la plus septentrionale des localités existantes.

#### DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA STATION ALERT

La station Alert, des Forces armées canadiennes (SFC), est située à l'extrémité nord d'Ellesmere Island dans les Territoires du Nord-Ouest (voir figure 1). Elle est à 830 km du pôle Nord et à 3 500 km d'Edmonton (la grande ville la plus proche). À notre connaissance, Alert est la localité permanente la plus septentrionale du monde entier.

À 5 km au nord du complexe principal de la station s'étend l'océan Arctique; à 500 m à l'est est situé le chenal qui relie Dumbell Bay et Parr Inlet (voir figure 2). Les bâtiments du complexe principal sont construits sur un site élevé, à environ 90 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le terrain environnant descend doucement, un mètre tous les cinquante mètres environ, au nord et au sud; on descend brusquement à proximité de Parr Inlet et de Dumbell Bay à l'est, mais le terrain est relativement plat à l'ouest.

La couche superficielle du sol est composée de schiste friable mélangé à du limon et à de l'argile. Les affleurements de schiste argileux sont fréquents dans la région: le schiste se décompose rapidement lorsqu'il est exposé aux intempéries et, sous l'effet de la circulation routière, il se transforme en une poudre grisâtre. Il existe quelques espèces végétales, qui vont des fleurs miniatures aux mousses, sur les sols qui ne sont pas perturbés pendant l'été, mais la végétation n'a pour ainsi dire pas d'influence sur les couches actives du pergélisol car elle est trop éparse. De précédentes expériences de construction à Alert ont montré que la profondeur de la couche active varie selon le site mais ne dépasse généralement pas 450 millimètres.

Le climat à Alert est semblable à celui des autres localités canadiennes de l'Arctique. Seule la durée de la saison froide diffère. Les données rassemblées par la station météorologique du Haut Arctique (SMHA), située comme la SFC à Alert, indiquent que la température annuelle moyenne est de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Février est le mois le plus froid de l'année, avec des températures quotidiennes moyennes de  $-33^{\circ}\text{C}$ ; juillet est le mois le plus chaud avec des températures quotidiennes moyennes de  $4^{\circ}\text{C}$ . Juillet et août sont les deux seuls mois de l'année pendant lesquels les températures quotidiennes moyennes sont supérieures à  $0^{\circ}\text{C}$ . Le nombre moyen de jours de gel par année est de 336. Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 160 mm, avec 20 mm de pluie et 145 cm de neige. La vitesse moyenne du vent s'établit à 10 km/h, le vent dominant étant un vent d'ouest, la vitesse du vent la plus grande qu'on ait observée dépassait 155 km/h. Pendant sept mois environ, d'octobre à avril, la poudrière et le vent glacial produisent à la station Alert un "temps blanc".

La quantité de lumière diurne par an est concentrée entre les équinoxes de printemps et d'automne. Chaque année, le soleil apparaît pour la première fois le 3 mars et disparaît pour la dernière fois le 12 octobre. Pendant environ trois semaines, avant et après le 21 mars et le 23 septembre, la lumière du jour alterne avec l'obscurité. Entreprendre des travaux de construction pendant la période d'obscurité totale, par un hiver rigoureux, serait trop coûteux en main-d'oeuvre, combustible et équipement. Par conséquent, tous les gros travaux de construction se font entre mai et septembre.



Figure 1 Carte du Canada

Tout transport, en partance ou à destination de la station, se fait exclusivement par avion. L'approvisionnement ne peut se faire autrement puisque la glace polaire couvre la région pendant toute l'année et qu'il n'existe pas de routes vers le sud. Normalement, les livraisons se font une fois par semaine, à partir du sud du Canada. De plus, il existe des vols spéciaux pour le transport des passagers et des marchandises. On peut aussi ravitailler Alert de la façon suivante: on envoie le matériel par la mer, de Montréal à Thule (Groenland) pendant les mois d'été, puis on transporte ce matériel par avions Hercules jusqu'à Alert. C'est ainsi qu'est livrée chaque été une grande partie du matériel et de l'équipement lourd et volumineux qu'exigent les travaux de construction.

Les communications entre Alert et le monde extérieur sont sensibles aux mauvaises conditions atmosphériques et climatiques. La communication par radio est parfois totalement coupée pendant plusieurs jours, empêchant la transmission ou la réception de tout message. Parfois, les avions qui viennent livrer le courrier et des fournitures chaque semaine ne peuvent atterrir à cause du manque de visibilité. Il est donc clair qu'on ne peut pas toujours compter sur une intervention rapide du Sud en cas de problèmes graves à Alert. C'est pourquoi la fiabilité de toutes les structures essentielles à la survie (dont l'approvisionnement en nourriture et les services de base), est de première importance.

#### SOURCE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU

La source d'approvisionnement en eau est le lac Upper Dumbell, situé à environ 2,5 km au sud du complexe principal. Ce lac couvre une superficie de 360 hectares. Les sondages faits pour la présente étude pendant l'été 1978, au cours desquels on a noté des profondeurs allant jusqu'à 10,5 m, ne suffisent pas à déterminer précisément la profondeur moyenne du plan d'eau — que certains situent à 7,6 mètres. La saison froide étant très longue,

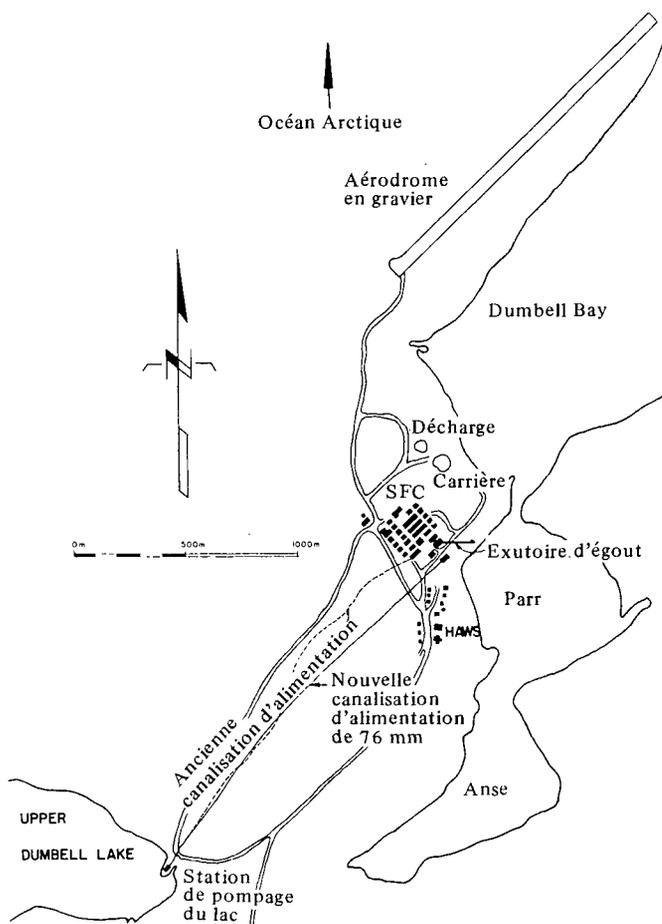


Figure 2 Plan du site de la SFC Alert

le lac est entièrement recouvert d'une couche de glace épaisse de 2 à 3 m pendant environ 9 mois. Généralement la débâche du lac se produit à la mi-juillet et l'embâcle à la mi-septembre. Grâce au soleil d'été, qui brille 24 heures par jour, la température des eaux au fond du lac augmente de 2 °C par rapport à leur température constante d'hiver, qui est de 2 °C. Les analyses chimiques des échantillons pris au lac Dumbell indiquent que l'eau est de très bonne qualité. Certains résultats de ces analyses sont donnés au tableau 1.

#### ANCIEN RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU

**Généralités.** — Le premier réseau de distribution a été construit en 1965; auparavant, il fallait transporter l'eau de Dumbell Lake jusqu'au complexe principal de la station. Ce système a fonctionné de façon satisfaisante pendant une dizaine d'années, avant que de sérieux problèmes se posent. Il comportait cinq composantes principales: a) prises d'eau et station de pompage au lac; b) canalisation d'alimentation d'eau brute; c) usine de traitement de l'eau; d) réseau de distribution; e) branchements pour résidences particulières et bâtiments.

Le concept de l'ancien système était très conventionnel. L'eau du lac Dumbell était chauffée puis acheminée dans des canalisations, sur une longueur d'environ 2 400 m, jusqu'à l'usine de traitement au complexe principal de la station. À l'intérieur de l'usine, l'eau était filtrée, emmagasinée, réchauffée, chlorée puis pompée dans le réseau de distribution de la station. Les paragraphes suivants donnent une description plus détaillée des principaux éléments de l'ancien système.

Tableau 1 Analyse chimique de l'eau de Dumbell Lake

Résultats en mg/l <sup>a</sup>	29 nov. 74	3 janv. 75	29 janv. 75	26 fév. 75	26 mars 75	16 mai 75	16 juin 75	Moyenne	Limite acceptable <sup>b</sup>
pH (unités)		7,3	6,9	8,1	8,0	7,8	8,3	7,7	6,5-8,3
Dureté CaCO <sub>3</sub>	83,2	61,6	106	81,9	70,1	114	112	89,8	81,120
Alcalinité totale-CaCO <sub>3</sub>	73,1	53,5	105	88,2	63,1	115	113	87,3	30-500
Fer (Fe)	0,02	N.D. <sup>c</sup>	0,03	0,07	N.D.	0,01	0,05	0,03	0,3
Manganèse (Mn)						0,01	0,04	0,02	0,05
Calcium (Ca)	24,5	15,4	33,1	27,5	20,0	36,7	36,7	27,7	200
Magnésium (Mg)	5,3	5,6	5,6	3,2	4,9	5,5	4,8	5,0	150
Bicarbonate-CO <sub>3</sub>	43,9	32,1	63,0	52,9	37,9	69,0	67,8	52,4	
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	0,4	0,1	0,4	N.D.	0,06	0,6	3	0,6	500
Chlorure (Cl)	6,0	3,7	8,8	7,4	8,8	7,9	8,5	7,3	250
Fluorure (F)						N.D.	N.D.	N.D.	1,5
Phénols		N.D.						N.D.	0,002
Couleur (unités)	5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	15
Turbidité (unités)	24	12	3,0	16	15	0,57	3,1	10	5
Total de solides dissous	91	64	101	89	80	134	131	98,6	1 000

a) Les échantillons ont été analysés par un laboratoire de chimie pour Environnement Canada, région de l'Ontario.

b) Les normes et objectifs concernant l'eau potable au Canada (1968), Santé et Bien-être Canada.

c) Non détectable.

**Anciennes prises d'eau et station de pompage du lac.** – L'ancienne station de pompage est située à l'extrémité est du lac Dumbell à environ 2 400 m du complexe principal de la station (voir figure 2). Elle avait été construite sur une presqu'île artificielle avançant d'environ 30 m dans le lac. C'était un bâtiment en bois, de 5 m de long sur 3 m de large et 2,4 m de haut. L'ancienne prise d'eau consistait en un canal en acier ondulé d'un diamètre de 300 mm, contenant trois canalisations aspirantes en polyéthylène. Deux de ces canalisations avaient un diamètre de 50 mm et la troisième, un diamètre de 30 mm. On avait installé des câbles chauffants pour empêcher le gel de ces canalisations aspirantes en hiver. On avait enfoui la section de la prise d'eau allant du plancher de la station de pompage jusqu'au pied de la route surélevée. Au-delà de celle-ci, la prise d'eau était maintenue en place par des sacs de sable posés à intervalles réguliers. L'extrémité aspirante de la prise d'eau, située à quelque 50 mètres de la route en remblai, était équipée d'un filtre et surélevée par rapport au fond du lac au moyen d'anciens fûts de pétrole.

La figure 3 présente un schéma de la circulation d'eau dans le système mécanique de l'ancienne station de pompage. En période de fonctionnement normal, l'eau brute du lac était pompée par les conduites d'aspiration et acheminée jusqu'à la station par deux des pompes (pompes à piston à déplacement positif, chacune d'un débit de 1,1 l/s). Ensuite, le débit d'eau brute était divisé en deux. Une partie de l'eau passait par l'échangeur thermique où elle était chauffée à une température relativement haute, alors que l'autre grâce à une vanne à contrôle thermostatique n'y passait pas. Avant de quitter la station de pompage, l'eau froide et l'eau chauffée du lac étaient mélangées à nouveau. En contrôlant la quantité d'eau brute passant dans l'échangeur thermique, la vanne à contrôle thermostatique pouvait grandement modifier la température de l'eau brute. La chaleur du côté primaire de l'échangeur thermique était fournie par deux chaudières au mazout, d'une puissance de sortie de 70 kW chacune. Si l'une des chaudières tombait en panne, un réchauffeur électrique auxiliaire, d'une puissance de 35 kW, fournissait l'énergie nécessaire à l'échangeur. L'énergie électrique pour les besoins de la station de pompage provenait des centrales électriques du complexe principal, à la station Alert. En cas de panne électrique,

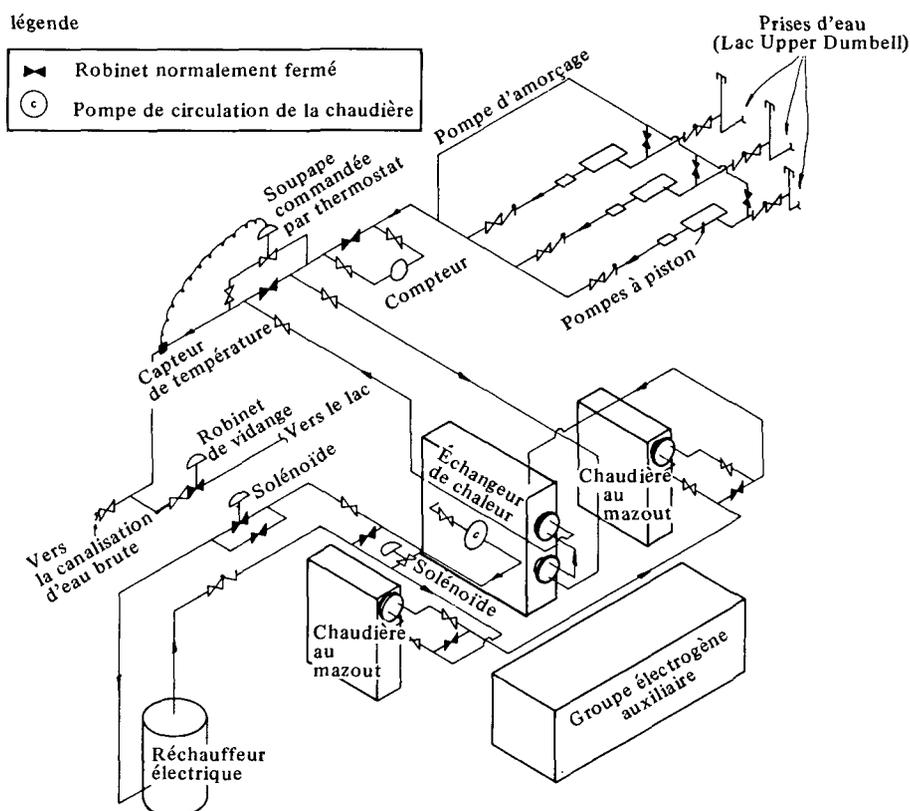


Figure 3 Schéma de la circulation d'eau dans le système mécanique de la station de pompage du lac Upper Dumbell (1<sup>er</sup> réseau de distribution)

le groupe électrogène auxiliaire prenait automatiquement la relève à la station de pompage. Un robinet de vidange servait à évacuer le résidu d'eau brute de la canalisation d'alimentation. Il n'y avait pas de préposé en permanence à la station de pompage et il était donc impossible d'en assurer continuellement la surveillance. Cependant, les composantes critiques étaient contrôlées et commandées à distance, à partir d'Alert.

**Ancienne canalisation d'eau brute.** — Comme nous l'avons vu précédemment, l'ancienne canalisation d'alimentation d'eau brute avait une longueur d'environ 2 400 mètres. La figure 2 montre le tracé de cette canalisation jusqu'à l'usine d'épuration. Elle était faite de tuyaux d'aluminium, d'une longueur de 7,5 m et d'un diamètre de 51 mm, joints par des raccords Victaulic. Pour empêcher qu'elle ne gèle, la canalisation était revêtue d'une couche d'isolant en uréthane, épaisse de 64 mm. L'isolant était protégé par d'épaisses feuilles de papier goudronné et d'aluminium. La canalisation était au-dessus du sol, sur toute sa longueur, installée à l'aide de fûts de pétrole ou de supports de bois encastrés dans des fûts remplis de terre.

**Ancienne usine de traitement de l'eau.** — Elle était située à la limite sud du complexe principal de la station. Son altitude était supérieure d'environ 50 m à celle de la station de pompage du lac Dumbell. La figure 4 présente le schéma de la circulation d'eau dans le système mécanique de l'ancienne usine d'épuration. L'eau brute pénétrant dans l'usine par la canalisation d'alimentation passait par un jeu de filtres sous pression en anthracite, avant d'être emmagasinée dans un réservoir de 80 m<sup>3</sup>. Ensuite, l'eau filtrée était pompée, selon les besoins, dans un réservoir hydropneumatique de 5 m<sup>3</sup> par des pompes d'alimentation ayant chacune un débit de 3,8 l/s. L'eau

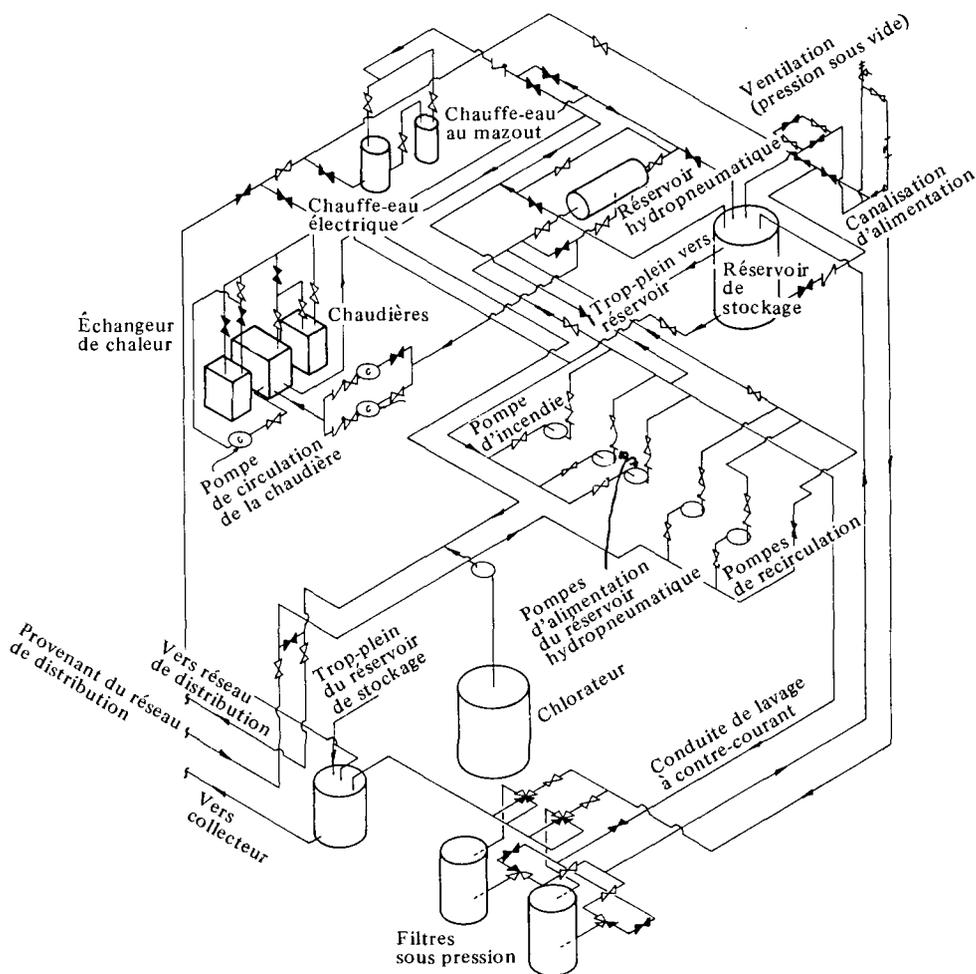


Figure 4 Schéma de la circulation d'eau dans le système mécanique de l'usine de traitement de l'eau (1<sup>er</sup> réseau de distribution)

était fournie directement au réseau de distribution par le réservoir hydropneumatique, dont la pression était maintenue constante à 207 kPa par les pompes d'alimentation. Avant de pénétrer dans le réseau de distribution, l'eau était chlorée avec de l'hypochlorite de sodium injecté dans la canalisation d'alimentation. Par mesure supplémentaire de précaution contre le gel des canalisations d'alimentation, la circulation d'eau était assurée dans le réservoir hydropneumatique et le réseau de distribution par les pompes de recirculation, situées dans la canalisation de retour. De plus, les pertes de chaleur dans le réseau de distribution étaient rapidement compensées par la recirculation d'eau continue entre le réservoir hydropneumatique et l'échangeur thermique. La chaleur était fournie au côté primaire à l'échangeur par les chaudières, d'une puissance de sortie de 70 kW chacune. On avait installé comme modification un chauffe-eau électrique et un autre au mazout comme système d'appoint pour les chaudières et comme source supplémentaire d'eau chaude au besoin. En cas d'incendie à la station, la pompe à incendie d'un débit de 7,6 l/s pouvait augmenter automatiquement la pression et le débit dans le réseau de distribution, en amenant au réservoir hydropneumatique l'eau du réservoir de stockage. Par souci de souplesse d'exploitation de l'usine d'épuration, on avait équipé le système mécanique de nombreuses interconnexions avec robinetterie et dérivations. L'usine de traitement comprenait également un panneau principal de contrôle et de commande, à partir duquel on pouvait surveiller et commander à distance les composantes essentielles du réseau de distribution. On avait nommé un opérateur responsable du fonctionnement du système d'alimentation en eau, mais comme il avait d'autres tâches, il était fréquemment absent de l'usine d'épuration. En pratique, l'ancien système était supervisé par les opérateurs de la centrale électrique, à partir d'un double du panneau de commande installé à la centrale.

**Ancien réseau de distribution de la station Alert.** – Le réseau de distribution était fait de tuyaux d'aluminium, d'un diamètre de 76 mm et d'une longueur variable, reliés entre eux par des raccords Victaulic. L'eau circulait continuellement dans le réseau de distribution, en suivant le trajet indiqué à la figure 5. Un certain nombre de boucles d'isolation et de robinets de vidange avaient été installés pour faciliter l'entretien et la vidange de certaines sections du réseau. Les canalisations de distribution étaient logées dans un utilidor carré en bois

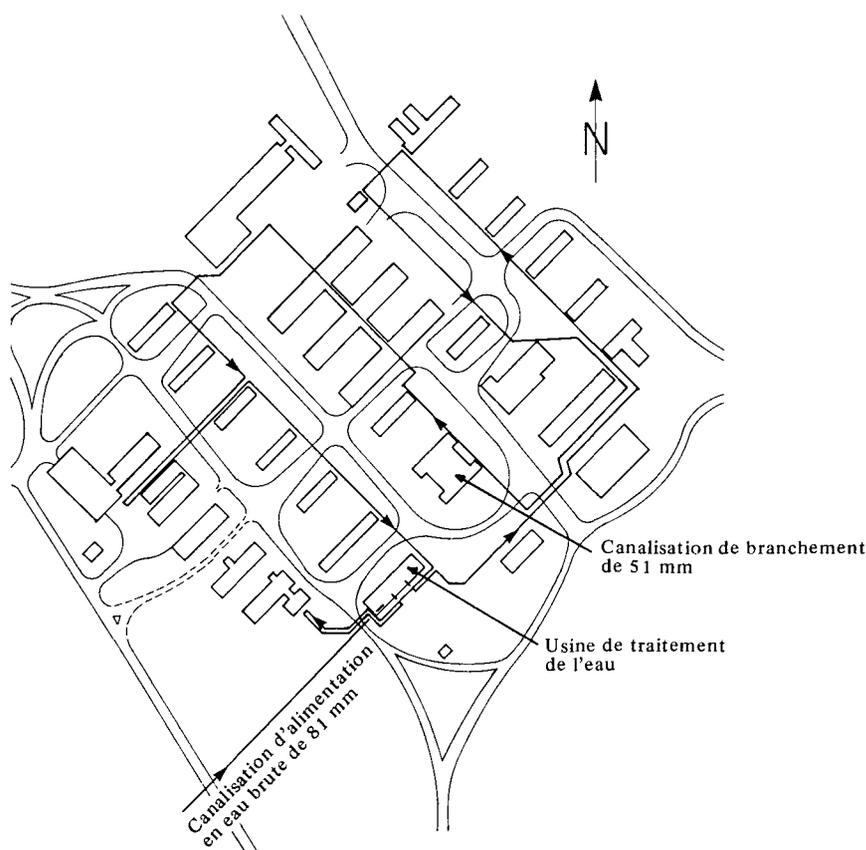


Figure 5 Ancien réseau de distribution du complexe principal d'Alert

avec les canalisations d'égout, pour les protéger contre le froid. Les parois intérieures de l'utilidor étaient isolées avec environ 64 mm de mousse de styrène. Tous les joints extérieurs avaient été scellés avec un calfeutrage en caoutchouc pour éviter la pénétration du vent et de la neige. De plus, on avait installé dans l'utilidor deux câbles chauffants de secours. Là où l'utilidor passait sous une route, il était protégé par des conduits semi-circulaires en acier.

**Canalisations de branchement et tuyauterie des bâtiments.** — Les branchements des anciennes canalisations de distribution vers les différents bâtiments étaient faits de tuyaux en aluminium de 51 mm, équipés de câbles chauffants fonctionnant continuellement en hiver. Les canalisations de branchement étaient isolées et protégées soit par un utilidor en bois, soit par un système semblable à celui de la canalisation d'eau brute. La tuyauterie des immeubles était comparable à celle dont sont généralement dotées les agglomérations modernes: la plupart des bâtiments de la station avaient l'eau courante, chaude et froide (salles de bains et toilettes).

### **POURQUOI UN NOUVEAU RÉSEAU DE DISTRIBUTION ?**

Divers incidents, entraînant un arrêt temporaire du service, se sont produits une fois le réseau mis en place (1965). La cause des défaillances variait: défectuosité d'une composante mécanique essentielle, rupture d'une canalisation d'eau brute par une motoneige roulant à grande vitesse, etc. Heureusement, l'arrêt de service était le plus souvent relativement court. Cependant, en novembre 1965, la défaillance de certains éléments du système a provoqué une suite d'événements qui ont causé le gel total de la canalisation d'eau brute. Comme il était impossible de dégeler cette canalisation durant les mois d'hiver, les habitants de la station ont dû, à nouveau, transporter l'eau du lac à la station. Cette solution n'était pas satisfaisante: elle exigeait beaucoup de main-d'oeuvre et la quantité d'eau transportée était limitée. Mais on n'avait pas le choix et on dut attendre jusqu'au mois de mai avant d'effectuer les réparations.

Les dossiers n'indiquent pas clairement les raisons de la panne du réseau de distribution d'eau à la station Alert en novembre 1976. Cependant, pour avoir visité les lieux à plusieurs reprises avant cette date et avoir obtenu divers renseignements auprès des habitants de la station, nous sommes en mesure de proposer le scénario suivant:

a) Déjà, les pompes d'eau brute de la station de pompage se désamorçaient souvent en temps normal. La vitesse de l'eau circulant dans la canalisation d'alimentation diminuait alors, augmentant le risque de gel.

b) Rien n'avait été prévu pour dégeler la canalisation d'eau brute. Lorsqu'une section était gelée, la canalisation tout entière était hors de service jusqu'au printemps ou à l'été.

c) Le grand nombre d'interconnexions non marquées, installées pour ajouter à la souplesse du système mécanique de l'usine d'épuration, rendait le réseau complexe pour les opérateurs — qui ne restaient en général pas plus de 6 mois à Alert. Il aurait dû être clair, au départ, qu'un système simple était nécessaire. Pourtant, les composantes des stations de pompage et usine d'épuration étaient installées de façon à dérouter même le plus expérimenté des opérateurs.

d) En 1975, le système électronique de surveillance et de commande était déjà désuet. En dépit d'un entretien plus fréquent par les fournisseurs, le système devint peu fiable. Les fausses alarmes se multipliant, les personnes chargées de la surveillance du réseau en vinrent à douter de la réalité des alarmes.

La défaillance de novembre 1976 eut de dures conséquences pour les habitants d'Alert. À long terme, pourtant, elle s'avéra bénéfique pour la station puisque les arrêts de service répétés qui s'ensuivirent incitèrent le ministère de la Défense nationale à entreprendre l'aménagement d'un nouveau réseau de distribution. La première unité du Génie de construction des Forces armées canadiennes eut pour tâche de produire des plans détaillés et de construire un nouveau réseau à la station Alert.

### **FACTEURS CONSIDÉRÉS DANS LA CONCEPTION DU NOUVEAU RÉSEAU DE DISTRIBUTION**

On trouvera ci-dessous un bref exposé des éléments pris en considération lors de la conception du nouveau réseau de distribution:

a) Fiabilité du service. — L'approvisionnement en eau doit être continu et suffisant pour répondre à la demande de la station. En aucun cas, il ne doit se produire un arrêt prolongé de service. Des mesures doivent être prises pour empêcher le gel de tout élément du nouveau système.

b) Débit d'eau d'incendie et stockage de l'eau. — Le débit d'eau d'incendie et la capacité de stockage de l'eau étaient insuffisantes dans l'ancien système. Comme on a agrandi la station, il faut porter à 63 l/s le débit d'eau d'incendie et à 454 m<sup>3</sup> la capacité de stockage.

c) Type de construction. — Des précautions supplémentaires doivent être prises pour éviter les conséquences sérieuses d'un dégel du pergélisol local. Par ailleurs, pour réduire les coûts de la construction sur place, il est préférable d'utiliser des composantes préfabriquées et préassemblées en usine.

d) Simplicité du fonctionnement. — Comme pour tout réseau aménagé dans une localité éloignée, un fonctionnement simple est la clé du succès. Le fonctionnement du nouveau réseau de distribution d'eau doit donc être facile à comprendre, même pour un opérateur nouveau et inexpérimenté. Une technique de détection et de réparation des pannes, étape par étape, doit être communiquée à l'opérateur.

e) Facilité d'entretien. — Il est essentiel que les travaux routiniers d'entretien préventif soient simples, que l'accès aux composantes du réseau soit aisé, que les conditions de travail soient raisonnables et facilitent la tâche de l'opérateur.

f) Système d'avertisseurs. — Un système d'avertisseurs devrait être prévu, de façon à donner à l'opérateur suffisamment de temps pour remédier aux problèmes avant qu'il ne soit trop tard.

g) Conservation de l'énergie. — Le rendement du nouveau réseau de distribution doit être étudié avec soin, vu le coût élevé du mazout livré par avion.

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU NOUVEAU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Le nouveau réseau de distribution reprend certaines caractéristiques avantageuses de l'ancien système. Cependant, il repose sur de nouveaux principes tenant compte des facteurs énoncés précédemment. La figure 6 illustre le concept proposé pour le nouveau réseau.

a) L'eau sera continuellement pompée par des pompes immergées, à partir d'une prise d'eau isolée et chauffée par câbles chauffants. À l'exception d'un réchauffeur auxiliaire, il n'y aura à la station de pompage aucune composante automatique pour chauffer l'eau avant qu'elle ne pénètre dans la nouvelle canalisation d'eau

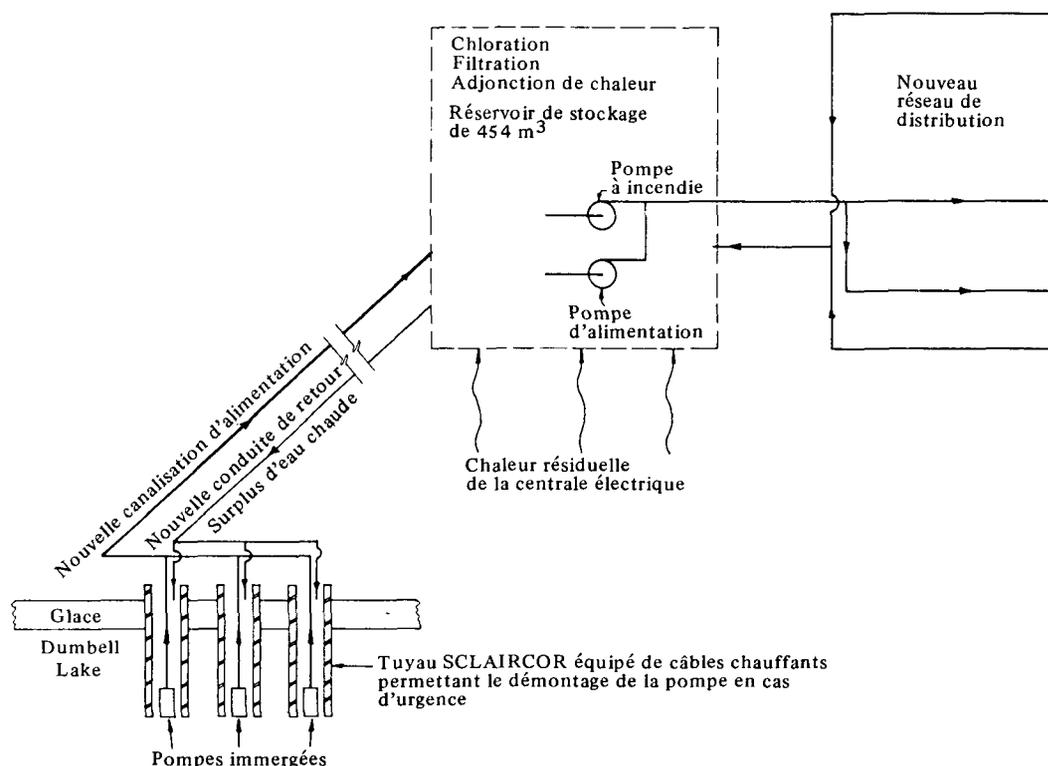


Figure 6 Concept du nouveau réseau de distribution

brute. L'eau brute pénétrant dans la prise d'eau sera chauffée par les câbles chauffants de la prise d'eau lors de la mise en marche, et par l'adjonction du surplus d'eau chaude revenant de la station au bâtiment des pompes, en période d'exploitation normale.

b) En quittant le nouveau bâtiment des pompes pour la station, l'eau pénétrera dans une nouvelle canalisation d'eau faite de tuyaux en polyéthylène isolés, chauffés, et fusionnés bout à bout.

c) Une fois à l'intérieur de la nouvelle usine d'épuration, l'eau sera filtrée, chlorée, chauffée et stockée avant d'être pompée dans le réseau de distribution. On a jugé qu'un traitement supplémentaire de l'eau ne serait pas nécessaire. En général, la chaleur récupérée à partir des générateurs diesel de la centrale électrique de la station suffira au fonctionnement du réseau. Cependant, des chaudières au mazout pourront fournir un supplément de chaleur en cas de besoin. Tout l'excédent d'eau potable chaude de l'usine de traitement sera renvoyé par gravité à la prise d'eau du bâtiment des pompes le long d'une canalisation de retour construite de la même façon que la canalisation de distribution.

d) On modifiera le réseau de distribution d'eau pour en faire un système à double boucle de retour plutôt qu'à simple boucle de retour, pour mieux l'adapter au développement de la localité (destruction des anciens bâtiments, nouvelles constructions). De plus, la capacité des canalisations desservant des zones à forte population sera augmentée pour faciliter la lutte contre les incendies.

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU NOUVEAU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

**Généralités.** — Il a fallu diviser le projet en un certain nombre de phases à cause du manque de main-d'oeuvre, de la longueur des délais de livraison, des difficultés du transport aérien et des restrictions financières. Après avoir évalué l'ancien réseau d'adduction, on a décidé que la première phase du projet, prévue pour l'été 1978, verrait la construction de la nouvelle canalisation de distribution et de la nouvelle usine d'épuration ainsi que la modification de l'ancien réseau d'alimentation en eau. Cette phase est maintenant terminée. Le nouvel aménagement des composantes suivantes: prises d'eau, station de pompage, conduite de retour et système de récupération de chaleur, se fera au cours de phases suivantes, dans un avenir prochain.

**Nouvelle canalisation de distribution d'eau.** — La nouvelle canalisation distributrice a été installée en 1978. Elle est faite de tronçons de 12 m de tuyaux SCLAIRCOR de 76 mm, série 160 (marque déposée par Du Pont du Canada). Les tuyaux sont protégés par un isolant en uréthane de 76 mm et recouverts d'une gaine en acier. La plupart des sections sont soudées bout à bout. Cependant, on s'est servi de raccords à brides pour relier les tuyaux à certains endroits difficiles (à l'intersection avec une route, par exemple, quand il a fallu installer un conduit souterrain pour protéger la canalisation SCLAIRCOR). La canalisation de distribution est protégée du gel, sur toute sa longueur, par des câbles chauffants installés entre le tuyau en polyéthylène et l'isolant en uréthane. Les câbles chauffants sont mis sous tension par des commandes individuelles. Chacune des commandes consiste en deux thermostats et deux capteurs de température, insérés dans le tuyau SCLAIRCOR. Ces dispositifs actionnent ou coupent automatiquement le courant électrique dans les câbles chauffants lorsque la température à l'intérieur du tuyau SCLAIRCOR atteint 7 °C ou 29 °C. Les commandes automatiques préviennent le gel ou la surchauffe susceptible d'endommager le tuyau en polyéthylène. Puisque chaque commande ne peut contrôler au maximum que 200 m de câble chauffant, il en faut douze pour toute la longueur de la nouvelle canalisation de distribution. L'énergie électrique est fournie par des transformateurs situés sur des buttes de terre élevées, à intervalles réguliers le long de la nouvelle canalisation. Des feux rouges ont été installés au sommet de chaque transformateur pour en marquer clairement l'emplacement en prévision des mois de nuit totale.

La canalisation distributrice est installée légèrement au-dessus du sol à l'aide de supports en bois. Connaissant les problèmes de construction à Alert, on a exclu la possibilité de poser une canalisation souterraine. Pour faciliter l'écoulement par gravité, la canalisation d'alimentation descend de la nouvelle usine d'épuration au bâtiment des pompes. Le choix d'un tracé perpendiculaire aux courbes de niveau a permis de minimiser le travail supplémentaire. La figure 2 montre le cheminement de la nouvelle canalisation d'eau.

**Construction de la nouvelle usine de traitement de l'eau.** — Construite pendant l'été de 1978, la nouvelle usine de traitement est un bâtiment préfabriqué, avec une charpente rigide en acier, entouré de panneaux en acier isolés avec un coefficient R de 22. Ce type de bâtiment a été choisi à cause de son excellente isolation thermique et de sa facilité de construction. Ses dimensions sont les suivantes: longueur de 19 m, largeur de 16 m et hauteur de 17 m (à la pointe du toit).

La préservation du pergélisol a été un facteur qu'il a fallu considérer avec soin lors de la conception des fondations et du plancher du bâtiment. Une fois dégelé, le sol d'Alert ne convient plus comme surface d'appui pour une fondation. On a donc étudié deux possibilités pour éviter toute défaillance structurelle du bâtiment par suite du dégel du sol. La première, qui consistait à surélever le bâtiment tout entier (y compris le réservoir de 454 m<sup>3</sup>) au-dessus du sol au moyen de pylônes en acier, a été rejetée pour des raisons économiques. La seconde, qui a été retenue, consistait à construire un plancher au niveau du sol et à trouver un moyen de maintenir l'intégrité structurelle des fondations sous le plancher (voir la figure 7). Le plancher est fait de deux couches d'isolant en mousse de styrène de 80 mm, sur lesquelles on a coulé une dalle de béton armé de 180 mm. Pour les fondations, on a recouvert le sol d'une couche de 2 m de gravier compacté. Quatre conduits en acier ondulé d'un diamètre de 600 mm, avec un espacement de 5 m environ, ont été encastrés au milieu de la couche de gravier sous le bâtiment. Des clapets à bascule ont été installés aux extrémités des conduits pour permettre ou empêcher le passage de l'air. Le gravier compacté a pour fonction d'isoler le sol de la chaleur dispersée en permanence depuis l'intérieur du bâtiment. Les conduits servent en hiver à faire passer de l'air froid pour dissiper la chaleur emmagasinée dans le gravier; c'est pourquoi les extrémités des conduits ne doivent être ouvertes que de septembre à mai. Durant les autres mois, l'air chaud de la surface pénétrerait dans les conduits et dégeleraient les fondations sous l'usine. L'épaisseur de la couche de gravier a été déterminée à partir de l'équation Berggren modifiée. Pour calculer le nombre et la taille des conduits, on s'est servi des équations fondamentales de transfert de chaleur, qui dépendent d'un certain nombre de facteurs locaux tels que l'indice de dégel, l'indice de gel, la résistance thermique du matériau et la vitesse moyenne du vent. À des fins de vérification ultérieure, on a installé 44 thermistors sous le plancher du bâtiment pour surveiller avec quelle efficacité les conduits en acier préservent l'intégrité structurelle de la fondation.

**Aspects mécaniques.** — La figure 8 présente un schéma de la circulation d'eau dans le système mécanique de la nouvelle usine d'épuration. Le circuit est très simple. L'eau brute de la canalisation de distribution est filtrée puis chlorée avant d'être transférée dans les deux réservoirs de stockage de 227 m<sup>3</sup>. De là, l'eau est pompée continuellement dans la canalisation de distribution par la pompe d'alimentation. L'eau de la canalisation de

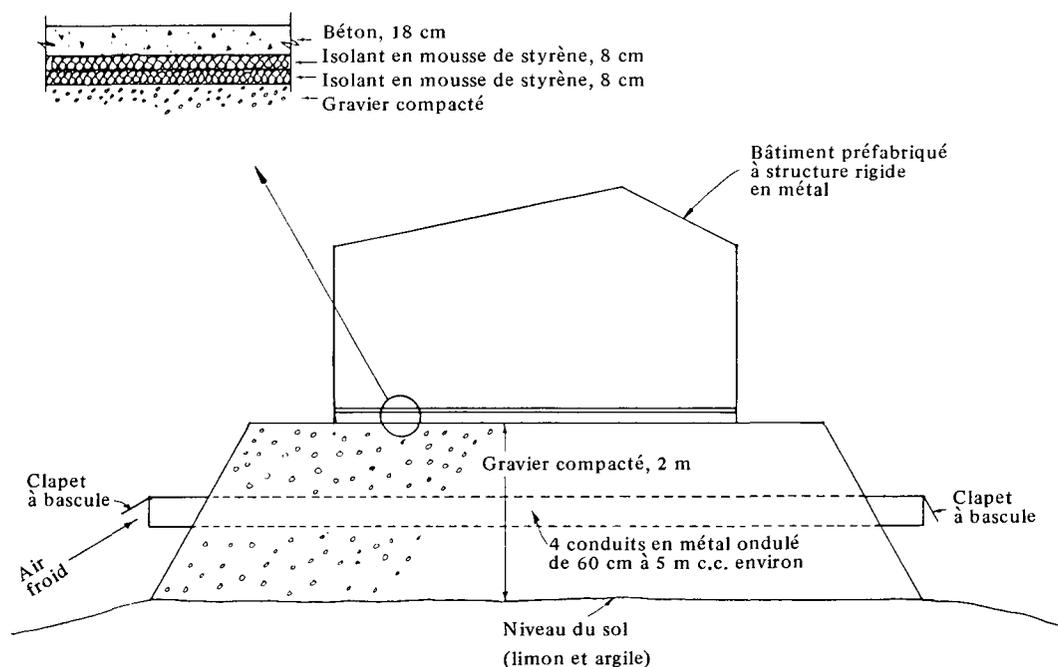


Figure 7 Fondations et plancher de la nouvelle usine de traitement de l'eau

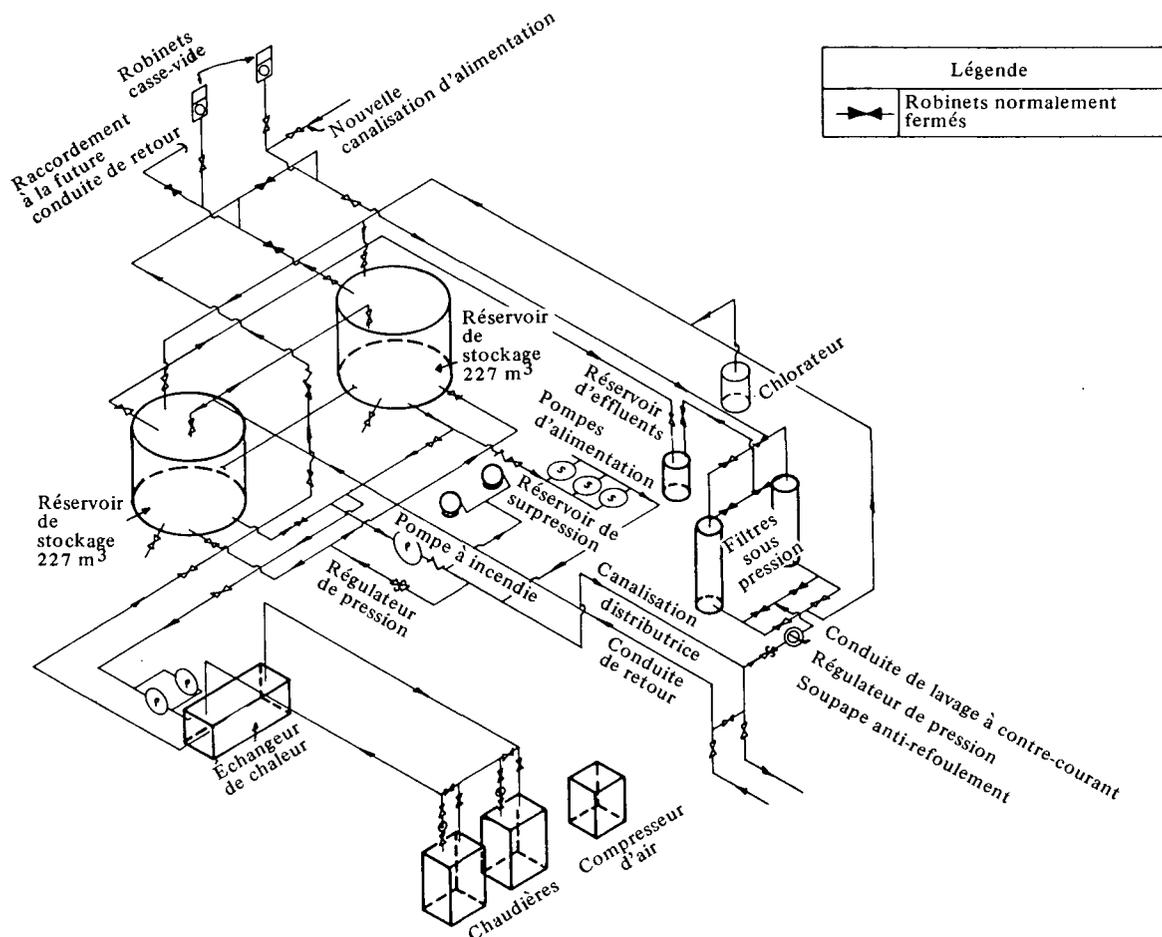


Figure 8 Circulation d'eau dans les systèmes mécaniques de la nouvelle usine de traitement de l'eau

retour revient aux réservoirs de stockage. En cas de sinistre, on peut acheminer une quantité d'eau plus importante des réservoirs de stockage à la canalisation de distribution, à l'aide d'une pompe à incendie de relais. L'eau des réservoirs de stockage est maintenue à une température de 13 °C par recirculation continue dans l'échangeur de chaleur. Le système de récupération de chaleur n'étant pas encore en service, l'échangeur est chauffé par une des chaudières. Une description plus détaillée des composantes essentielles de l'usine d'épuration est donnée ci-dessous:

a) Robinet casse-vidé. – Ce dispositif est situé sur la colonne montante qui est reliée à la canalisation d'alimentation d'eau brute pénétrant dans l'usine. Sa fonction principale est d'évacuer, avant le filtrage, l'air emprisonné dans l'eau brute. Sa deuxième fonction est de permettre la pénétration d'air lorsqu'on purge par gravité la canalisation d'alimentation.

b) Unité de filtrage. – L'unité de filtrage comprend deux filtres sous pression à rendement élevé, et un certain nombre de robinets-vannes et de tuyaux reliés ensemble. L'unité a été préassemblée dans le Sud. Le dispositif de filtrage se compose de quatre couches d'anthracite. Chaque filtre a un rendement de 3,2 l/s. Le lavage des filtres se fait manuellement, avec l'eau de la canalisation de distribution. Les conséquences d'une jonction transversale ont été éliminées par le montage d'une soupape anti-refoulement. On a posé un régulateur de pression sur la conduite de lavage à contre-courant pour empêcher tout mouvement violent du dispositif de filtrage lors du lavage. La disposition des tuyaux et robinets permet d'isoler un filtre aux fins du lavage ou de l'entretien, tout en continuant à filtrer l'eau brute au moyen des autres filtres.

c) Réservoir d'effluents. – La fonction essentielle du réservoir est de collecter l'eau sale du lavage avant de l'évacuer dans les égouts. Cependant, tant que le surplus d'eau de la station n'est pas renvoyé au nouveau bâtiment des pompes par une nouvelle canalisation de retour, tout excédent du réservoir de stockage se déverse dans le réservoir d'effluents.

d) Chlorateur. – Dès que l'eau est filtrée, on y ajoute une solution d'hypochlorite de sodium. Le procédé diffère de ce qu'il était dans l'ancien système, car l'hypochlorite était alors injecté dans la canalisation de distribution. Cette modification devrait retarder la croissance des bactéries dans l'eau stockée pendant de longues périodes dans les réservoirs. La quantité d'hypochlorite ajoutée dépend du débit et du besoin en chlore de l'eau sortant des filtres. Le chlorateur est réglé pour maintenir un résidu de chlore de 0,2 à 0,4 mg/l dans la canalisation de distribution.

e) Réservoirs de stockage. – Les deux réservoirs sont de construction identique. Ils sont faits de plaques en acier soudées. L'intérieur des réservoirs est recouvert de 15 mils de peinture homologuée pour usage dans les réservoirs d'eau. La capacité totale des deux réservoirs, de 454 m<sup>3</sup>, est suffisante pour alimenter toute la station pendant environ 5 jours en temps normal, ou pour alimenter une pompe à incendie de relais d'un débit nominal de 63 l/s pendant environ 2 heures.

f) Unité de distribution domestique. – L'équipement de distribution domestique comprend trois pompes centrifuges de 6,3 l/s, un système autonome de commande et divers capteurs de température et régulateurs de débit. L'unité, entièrement préfabriquée dans le Sud, a été conçue pour assurer un débit d'eau continu dans la canalisation de distribution. Normalement, une seule pompe suffit à l'alimentation. Cependant, si le taux de consommation dépasse la capacité de la pompe, le système de commande actionne automatiquement la deuxième pompe, et au besoin la troisième. De plus, si la pompe principale tombe en panne, le système de commande actionne automatiquement une autre pompe.

g) Pompe à incendie de relais. – La pompe de relais, préassemblée dans le Sud, comprend un moteur diesel autonome de 64 kW et une pompe à incendie d'un débit nominal de 63 l/s, avec une charge dynamique totale de 690 kPa. Lorsque cette pompe est mise en marche, la pointe de surpression initiale est amortie par deux réservoirs tampons. De plus, toute pression supérieure à la capacité des réservoirs tampons est dirigée dans les réservoirs de stockage par un régulateur de pression.

h) Chaudières. – Les deux chaudières sectionnelles à eau chaude sont en fonte et fonctionnent au mazout. Chacune a une puissance de 184 kW. Bien qu'une seule chaudière suffise normalement pour les besoins en chauffage de toute l'usine, la disposition de la robinetterie permet d'utiliser les chaudières en série. L'agent de transfert de chaleur entre les chaudières et le reste du système de chauffage est une solution à 50 p. cent d'éthylène glycol et 50 p. cent d'eau.

j) Échangeur de chaleur. – L'échangeur de chaleur comprend trois tubes échangeurs de chaleur en acier inoxydable, trois pompes centrifuges de 1,4 l/s et une vanne à commande thermostatique. L'échangeur de chaleur a également été pré-assemblé dans le Sud. L'eau des réservoirs de stockage est normalement maintenue à une température de 13 °C par le fonctionnement de deux pompes et de deux tubes échangeurs de chaleur. Pour éliminer toute possibilité de contamination de l'eau par le glycol, le transfert de chaleur se fait en deux étapes. Tout d'abord, la chaleur de la solution glycol-eau est dissipée par une petite quantité d'eau qui recircule constamment entre deux des tubes échangeurs. Ensuite, la chaleur de cette petite quantité d'eau en recirculation est dissipée par l'eau potable des réservoirs de stockage. Avec ce système, il faudrait que deux jeux séparés de tubes échangeurs se cassent avant que le glycol ne puisse contaminer l'eau.

k) Compresseur d'air. – Le compresseur d'air a été installé dans l'usine d'épuration essentiellement pour vérifier la pression dans les canalisations, pour préchauffer les canalisations avant d'y faire circuler l'eau, et pour les vidanger en cas d'urgence. La capacité de compression est de 60 l/s, à une pression de service de 860 kPa.

**Système de surveillance et de commande.** – Divers capteurs reliés à des avertisseurs ainsi que des dispositifs de télécommande ont été installés dans le nouveau réseau de distribution, pour avertir rapidement l'opérateur en cas de problème et l'aider à reconnaître la cause des défaillances et à effectuer les réparations nécessaires. Ces capteurs et dispositifs sont reliés à un panneau de commande central situé à la nouvelle usine d'épuration. Une alarme sonore et visuelle est déclenchée sur le panneau de commande central si seulement l'un des capteurs décèle une anomalie. Pour assurer un contrôle continu du réseau de distribution, des doubles des panneaux de commande ont été installés à chacune des centrales électriques de la station. Les problèmes que peut poser le système de contrôle et de commande sont réduits par l'utilisation de composants modulaires transistorisées.

Les principaux éléments qui font l'objet d'une surveillance et les télécommandes des panneaux centraux sont énumérés ci-dessous.

a) Éléments faisant l'objet d'une surveillance :

- 1) disparition de la flamme de la chaudière au bâtiment des pompes;
- 2) défaillance de la pompe de recirculation de la chaudière au bâtiment des pompes;
- 3) mode de fonctionnement du générateur auxiliaire au bâtiment des pompes;
- 4) défaillance du générateur auxiliaire au bâtiment des pompes;
- 5) mode de fonctionnement des pompes d'eau brute au bâtiment des pompes;
- 6) défaillance de la pompe d'eau brute au bâtiment des pompes;
- 7) faible température de l'eau brute pénétrant dans la canalisation d'alimentation;
- 8) faible débit de l'eau brute pénétrant dans la canalisation d'alimentation;
- 9) ouverture du robinet d'évacuation de la canalisation d'alimentation;
- 10) système d'alarme au bâtiment des pompes;
- 11) faible température dans le bâtiment des pompes;
- 12) mode de fonctionnement des rubans chauffants de la canalisation d'alimentation;
- 13) inversion de courant dans la canalisation d'alimentation;
- 14) faible température de l'eau brute pénétrant dans l'usine d'épuration;
- 15) température élevée de l'eau brute pénétrant dans l'usine d'épuration;
- 16) faible débit d'eau brute pénétrant dans l'usine d'épuration;
- 17) défaillance de l'unité de distribution domestique;
- 18) mode de fonctionnement des pompes d'alimentation;
- 19) défaillance des pompes d'alimentation;
- 20) faible température dans la canalisation de distribution;
- 21) faible débit dans la canalisation de distribution;
- 22) faible température dans la canalisation de retour;
- 23) température élevée dans la canalisation de retour;
- 24) faible débit dans la canalisation de retour;
- 25) mode de fonctionnement de la pompe à incendie de relais.

b) Éléments contrôlés à distance:

- 1) mise en marche individuelle des pompes d'eau brute au bâtiment des pompes;
- 2) arrêt individuel des pompes d'eau brute au bâtiment des pompes;
- 3) ouverture du robinet d'évacuation sur la canalisation d'alimentation;
- 4) fermeture du robinet d'évacuation sur la canalisation d'alimentation;
- 5) mise en marche du générateur auxiliaire au bâtiment des pompes;
- 6) arrêt du générateur auxiliaire au bâtiment des pompes.

**Protection contre le gel.** – La vulnérabilité au gel de l'ancienne canalisation d'alimentation en eau brute était le point faible du réseau. Pour cette raison, un grand soin a été apporté à la conception de la protection contre le gel de la nouvelle canalisation. Les mesures qu'on a prises sont énoncées ci-dessous:

a) Neuf capteurs, chacun relié à une alarme, ont été installés au nouveau réseau de distribution d'eau; l'opérateur est prévenu de la présence de conditions pouvant éventuellement entraîner le gel du système.

b) Huit dispositifs de télécommande ont été installés pour permettre à l'opérateur de commander à distance les composantes essentielles du bâtiment des pompes. Le système de télécommande est commode par mauvais temps, lorsque l'opérateur ne peut pas parcourir les 2 400 m séparant la station du bâtiment des pompes.

c) Des câbles chauffants, montés sur toute la longueur de la nouvelle canalisation d'alimentation, maintiennent automatiquement la température des tuyaux à plus de 7 °C.

d) S'il survient une panne du système de chauffage alors qu'il y a de l'eau froide dans la canalisation, on chasse rapidement l'eau vers le lac en injectant de l'air comprimé dans la canalisation, à l'usine de traitement. Une fois que la canalisation d'alimentation a été vidangée elle peut rester vide jusqu'au retour des conditions normales d'exploitation.

e) Supposons qu'il se produise une défaillance des câbles chauffants et qu'il ne soit pas possible de pomper l'eau chaude dans la canalisation d'alimentation par suite d'une panne mineure au bâtiment des pompes; dans ce cas, on pourra maintenir temporairement la température dans la canalisation d'alimentation en y transférant de l'eau chaude des réservoirs de stockage.

f) Si, par suite d'une défaillance des câbles chauffants, la canalisation d'alimentation est froide, on peut injecter de l'air chaud comprimé pour la réchauffer avant d'y faire circuler l'eau chaude.

### NOUVEAU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Le choix d'un nouvel emplacement pour l'usine d'épuration et la nécessité d'augmenter la capacité de certaines canalisations ont entraîné des modifications de l'ancien réseau de distribution. La figure 9 montre le tracé du nouveau réseau. Des tuyaux SCLAIRCOR ont été posés pour raccorder la nouvelle usine d'épuration à l'ancien réseau de distribution. La capacité des canalisations de distribution desservant les zones importantes ou fortement peuplées a été portée de 76 mm à 151 mm. Des régulateurs de pression ont été installés à différents points du réseau pour que les anciennes canalisations ne soient pas endommagées lorsque la pompe à incendie de relais fonctionne.

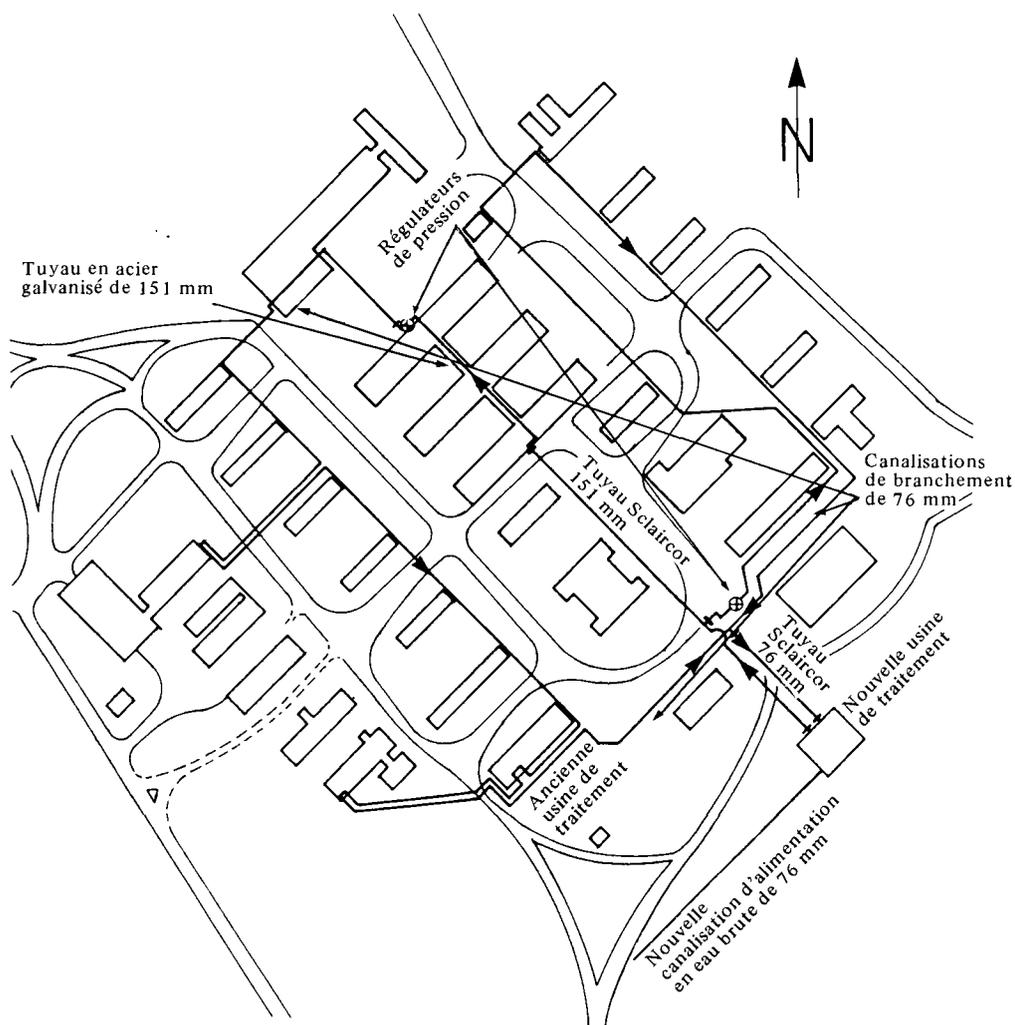


Figure 9 Nouveau système de distribution du complexe principal d'Alert

**Nouvelle canalisation de retour.** — La nouvelle canalisation de retour prévue entre la nouvelle usine d'épuration et le bâtiment des pompes sera faite de tuyaux SCLAIRCOR de 51 mm (série 160), construits et chauffés exactement de la même manière que la nouvelle canalisation distributrice. La fonction essentielle de la canalisation de retour sera d'acheminer l'excédent d'eau chaude potable de l'usine d'épuration au bâtiment des pompes, où l'eau chaude sera mélangée à l'eau froide provenant du lac. Une jonction transversale à soupape sera installée entre la canalisation d'alimentation et la canalisation de retour dans le bâtiment des pompes, pour qu'on puisse utiliser la canalisation de retour comme canalisation d'alimentation en cas d'urgence. Pour réduire les frais de construction, la conduite de retour sera installée à côté de la canalisation d'alimentation.

**Prises d'eau et station de pompage.** — L'étude détaillée des nouvelles prises d'eau et du nouveau bâtiment des pompes n'est pas encore terminée. Cependant, la figure 10 fournit une représentation schématique de la circulation d'eau dans le système mécanique du nouveau bâtiment des pompes. Le chauffage de l'eau brute pénétrant à l'entrée aspirante de la prise d'eau sera normalement effectué par mélange avec l'eau chaude revenant de la station au bâtiment des pompes; en cas d'urgence, les câbles chauffants seront activés pour éviter le gel des prises d'eau. À l'intérieur de celles-ci, l'eau sera pompée dans la canalisation de distribution par des pompes multicellulaires immergées. La structure des prises d'eau sera assez large pour permettre le démontage des pompes aux fins de l'entretien. En temps normal, une seule pompe et une seule prise d'eau suffiront à alimenter la station en eau; à l'occasion pourtant, l'utilisation de plusieurs prises sera nécessaire. Trois valves électromagnétiques montées sur la canalisation de retour ajouteront à la souplesse d'exploitation du réseau quand plusieurs prises d'eau fonctionneront en même temps. Le réchauffeur électrique de secours servira à protéger du gel la nouvelle

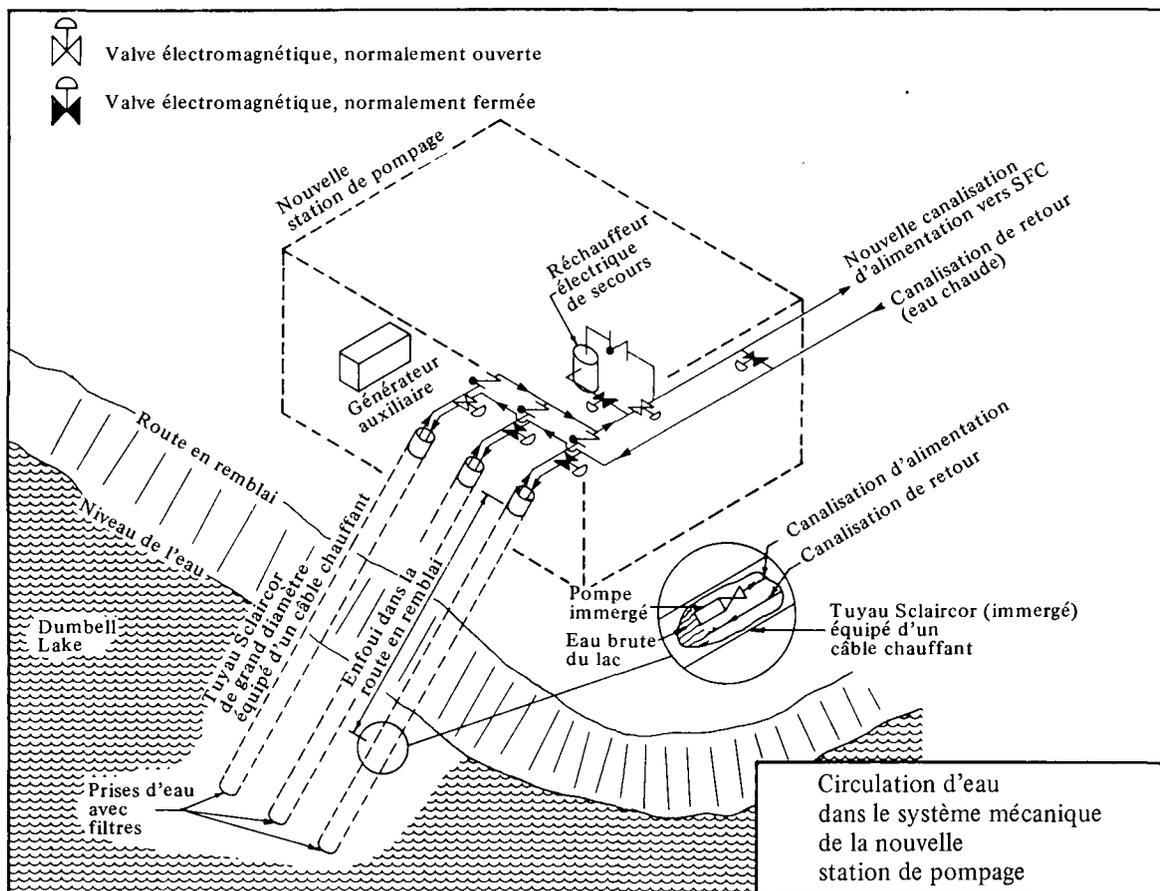


Figure 10 Schéma du système mécanique de la nouvelle station de pompage

canalisation de distribution quand les câbles chauffants ne pourront le faire; dans ce cas, l'eau sera chauffée davantage avant de pénétrer dans la canalisation. La jonction transversale à soupape entre la canalisation d'alimentation et la canalisation de retour aura deux fonctions. La canalisation de retour pourra servir de canalisation de distribution, au besoin, en ouvrant la soupape. Par le même procédé, on pourra aussi vidanger la canalisation de distribution.

### **SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR**

Il serait particulièrement judicieux d'installer un système de récupération de chaleur à Alert, où le coût du litre de carburant diesel est de \$0,50 et où les pertes de chaleur sont importantes. Selon une étude préliminaire, qui estime prudemment la consommation électrique moyenne de la station à 500 kW, on pourrait récupérer environ 1 000 kW de la chaleur résiduelle des générateurs diesel de la centrale électrique. Puisque les besoins en chauffage de l'usine d'épuration fonctionnant au sein du nouveau réseau de distribution seront de 250 kW au maximum, il suffirait de récupérer 25 p. cent de la chaleur perdue. De plus, la nouvelle usine d'épuration étant adjacente aux centrales électriques, le coût d'un système de transmission de la chaleur récupérée serait modeste. Compte tenu de cela, on a envisagé de récupérer la chaleur résiduelle pour chauffer l'eau à la nouvelle usine d'épuration. Naturellement, il reste à faire une comparaison détaillée entre les coûts en capital d'un système de récupération de chaleur et les économies de carburant à long terme. S'il est mis en oeuvre, ce projet de récupération de chaleur constituera la dernière phase de l'aménagement du nouveau réseau de distribution.

### **EXPÉRIENCES DE CONSTRUCTION ET D'EXPLOITATION**

La modification du réseau de distribution d'eau, la construction d'une canalisation distributrice et d'une usine d'épuration ont en général été un succès. Les nouvelles composantes ont été mises en service en décembre 1978. Elles furent toutes conçues et fabriquées de façon satisfaisante, et pourtant quelques problèmes inattendus se sont présentés pendant la construction. Voici un exposé des difficultés rencontrées sur le terrain et des solutions adoptées:

a) En août, on a découvert que l'une des anciennes conduites d'aspiration de la prise d'eau du lac laissait pénétrer l'air. On a essayé, mais en vain, de dégager la conduite d'aspiration de la prise d'eau pour la réparer. Comme la saison était trop avancée pour qu'on effectue des réparations importantes, on a construit une nouvelle prise d'eau. Elle est faite d'une conduite d'aspiration en polyéthylène de 51 mm, insérée dans un tuyau SCLAIRCOR de 150 mm recouvert d'une gaine en acier; le tuyau est également équipé d'un isolant épais de 76 mm, mais il n'est pas chauffé. Il est enfoui entre le bâtiment des pompes et la pointe du promontoire, et avance dans l'eau sur une distance de 7 mètres. Contrairement aux autres conduites d'aspiration équipées de câbles chauffants, cette canalisation est protégée contre le gel uniquement par le mouvement continu de l'eau qui y circule. C'est pour cela que l'extrémité aspirante de chaque pompe d'eau brute est raccordée de manière à assurer que l'eau soit continuellement aspirée dans la nouvelle canalisation, quelle que soit la pompe actionnée.

b) En septembre, alors qu'on évaluait le fonctionnement de l'ancien bâtiment des pompes, on a noté un point faible dans le système de chauffage. Si une pompe de recirculation d'une chaudière arrêtait de fonctionner, il n'existait pas d'autre moyen de chauffer l'eau brute froide avant qu'elle ne pénètre dans la nouvelle canalisation d'alimentation. On a donc installé une pompe de recirculation auxiliaire en plus de la pompe existante.

c) La mise en service de la canalisation SCLAIRCOR a été retardée, car certaines composantes importantes du système de surveillance et de commande à distance n'ont pas été livrées à temps. On a terminé la construction et les essais de pression (air et eau) de la conduite SCLAIRCOR au mois d'août, mais elle n'a pas été mise en service avant décembre. Pendant quatre mois, la canalisation SCLAIRCOR est donc restée vide. La température en décembre étant de -30 °C, on a pris des précautions contre le gel au moment de la mise en service. Avant de remplir la canalisation d'eau, on a activé les câbles chauffants pendant deux jours et on a insufflé de l'air chaud dans les tuyaux pendant plusieurs heures. Enfin, on a fait un essai de pression avec de l'air. On s'est alors aperçu que certains raccords à brides n'étaient pas étanches et qu'il se produisait des fuites. Un examen a révélé que presque tous les boulons des brides étaient desserrés. Il y aurait deux causes: négligence de la part de l'entrepreneur et effet de la contraction thermique sur les raccords à brides. Une fois tous les boulons serrés, les fuites ont cessé; on a donc mis la canalisation SCLAIRCOR en service sans autre problème.

Il s'est produit un seul incident depuis que les composantes du réseau ont été mises en service en décembre 1978. En janvier 1979, le nouveau système de surveillance et de commande a cessé de fonctionner normalement

par suite d'une rupture des câbles de commande, entre l'usine d'épuration d'eau et le bâtiment des pompes. Comme on avait installé un certain nombre de câbles de rechange, le problème a été vite résolu: il a suffi de déconnecter les câbles défectueux et de brancher des câbles de rechange.

### **CONCLUSION**

La phase 1 du projet du nouveau réseau de distribution d'eau à la SFC Alert a été un succès. Cette expérience a montré qu'on ne peut plus prétexter les rudes conditions climatiques du Nord pour ne pas offrir aux localités éloignées les services d'adduction d'eau dont elles ont besoin. On peut éliminer presque toute possibilité de gel des canalisations en utilisant des tuyaux isolés munis de câbles chauffants et en appliquant les principes de génie civil adéquats.

## HUITIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### UNE ÉTUDE SUR MAQUETTE POUR RÉGLER LES PROBLÈMES QUE POSE L'AMONCELLEMENT DE LA NEIGE À BAKER LAKE (T.N.-O.)

Kenneth M. Adam et Richard Piotrowski  
Interdisciplinary Engineering Company  
Winnipeg (Manitoba)

#### INTRODUCTION

Notre compagnie a été choisie par le Conseil municipal du village de Baker Lake pour préparer un plan de développement général de cette localité. À cette occasion, des entretiens avec les habitants et des observations sur place ont révélé que l'amoncellement de neige ("l'ensevelissement sous la neige" serait plus juste) était un problème sérieux, à tel point que certains habitants suggéraient d'aménager un nouveau site d'habitation sur la rive opposée du lac Baker, où l'accumulation annuelle de neige est moindre.

Baker Lake est une localité d'environ 1 100 personnes, située à 290 km à l'ouest de la baie d'Hudson et à 240 km au sud du cercle arctique. Cette portion du bouclier précambrien se caractérise par de la roche, de la toundra et des lacs. Bien que la moyenne des précipitations annuelles ne soit que de 21,3 cm, un hiver long assure un enneigement de la mi-octobre au début juin. Vu l'absence d'abris naturels, les vents atteignent de très grandes vitesses et les poudreries sont fréquentes.

En fait, l'un des plus grands problèmes auxquels Baker Lake fait face est la poudrerie qui s'accumule en congères anormalement hautes dans de nombreuses zones résidentielles de la localité. Ces congères sont d'une telle densité que l'on peut marcher dessus sans s'y enfoncer de plus d'un quart de pouce.

Le terrain étant à nu, de la neige provenant de plusieurs kilomètres au nord peut être soufflée sur le village. Il est courant que plusieurs maisons soient complètement ensevelies en hiver, les cheminées apparaissant seules sur le haut des congères. La plupart des habitations, mais principalement les deux ou trois rangées de maisons les plus au nord, sont complètement encerclées par les congères. Pour en sortir, il faut souvent creuser un passage le matin. De plus, il est souvent impossible de repérer les rues autrement que par l'emplacement des maisons.

Les voies résidentielles étant, dès le début de l'hiver, impraticables pour les véhicules ordinaires, des véhicules équipés de pneus à basse pression doivent être utilisés pour la collecte des eaux usées et la distribution d'eau et de combustible. Ces véhicules de livraison risquent toujours de heurter ou de passer accidentellement au travers d'un toit enseveli, ou encore d'arracher des lignes électriques trop basses. Mais le plus grand danger présenté par l'amoncellement de neige est l'incendie.

Le principal avantage des congères est leur propriété isolante, qui croît au fur et à mesure que la neige s'accumule.

#### PROBLÈMES ET OBJECTIFS

On a considéré que, de par leur importance, les problèmes suivants dus à la neige méritaient une recherche approfondie. Certains constituent seulement une incommodité mais d'autres peuvent mettre en danger la vie des habitants de Baker Lake.

- La neige peut empêcher la distribution de combustible et d'eau, et la collecte des ordures ménagères et des eaux usées.
- La neige gêne l'accès aux garages et aux postes d'essence.
- Les habitations ensevelies présentent des risques d'incendie, supportant de lourdes charges de neige, et l'installation de rallonges de cheminée est rendue obligatoire. Les habitants doivent se charger de pelleter de grandes quantités de neige.
- La neige bloque le trafic routier, revient cher à déblayer, doit être accumulée quelque part et représente un danger pour les véhicules et les piétons.
- Elle entrave le fonctionnement des structures facilitant l'écoulement des eaux lors du dégel au printemps.
- Elle augmente les coûts de gestion des installations connexes de l'aéroport et diminue la marge de sécurité des opérations.

Voici quels sont les trois objectifs principaux que l'on avait fixés pour l'étude:

- Examiner des méthodes permettant de réduire l'amoncellement de neige dans le village.
- Proposer un site de développement résidentiel de manière à réduire les effets de l'amoncellement de neige sur les nouvelles maisons et sur les services connexes.
- Construire une maquette de l'environnement immédiat du village; il s'agirait là d'un outil qui permettrait aux habitants de se faire une idée de l'aspect futur de leur village et qui faciliterait le zonage.

En cours de route, on ajouta un quatrième objectif: concevoir et orienter les constructions de la localité lorsqu'il est impossible de réduire l'amoncellement de neige.

### ÉTUDE DES CONDITIONS LOCALES

Durant les mois d'hiver, on a effectué six voyages à Baker Lake pour photographier, cartographier et observer les conditions locales. On a effectué des tests de densité et on a noté les résultats obtenus; on a enregistré la hauteur et l'emplacement des congères (voir figure 1).

Nous avons eu des entretiens avec les habitants afin de voir s'il était possible de faire l'historique de l'amoncellement des neiges dans la localité et pour explorer les solutions éventuelles pouvant faire l'objet d'une étude sur maquette.

Voici quels furent les commentaires des résidants :

- Il n'y a aucune solution au problème de l'amoncellement de neige.
- Si de nouvelles maisons doivent être construites, elles devront être situées dans des zones relativement dégagées telles que le terrain réservé du ministère des Transports, le terrain proche de la rive et l'aéroport.
- Si on installe des pare-neige au nord du village, l'accès au terrain devra être dégagé.
- Si l'on adopte les murs de neige en tant que solution, il devra toujours rester suffisamment de neige, dans la zone protégée, pour la circulation des motoneiges.
- Il ne faut pas réduire les problèmes de neige en créant des conditions pires pour autrui.

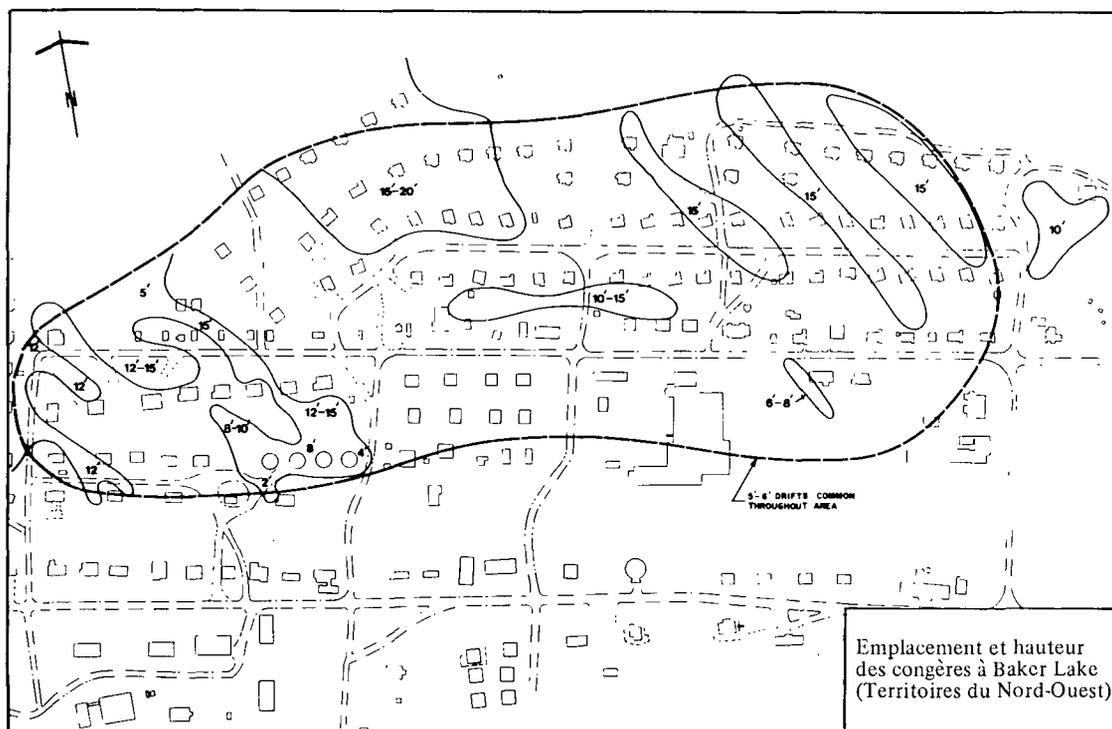


Figure 1 Emplacement et hauteur des congères à Baker Lake (Territoires du Nord-Ouest)

Au cours des discussions, on souligna que l'étude partirait du principe qu'il faudrait utiliser la neige comme matériau de construction; cette idée est calquée sur la technique inuit de construction des igloos. On fit remarquer également que l'obtention de fonds de sources gouvernementales pourrait être facilitée si les solutions étudiées sur maquette pouvaient être vérifiées sur place avant de se décider en faveur de solutions permanentes coûteuses.

Au cours de l'étude, des membres du Conseil municipal du village de Baker Lake et du comité de planification se rendirent plusieurs fois à Winnipeg pour examiner notre maquette et faire des observations sur l'exactitude des types d'amoncellement de neige représentés. Des représentants du ministère des Transports et du gouvernement territorial ont également examiné la maquette; leurs commentaires ont contribué au succès de la recherche.

Un dialogue constant fut établi avec les habitants pour s'assurer que les solutions paraissant favorables sur la maquette seraient aussi acceptables pour la collectivité touchée.

### UTILISATION DES MAQUETTES

Les maquettes peuvent être utilisées pour résoudre ou éviter les problèmes dus aux quantités de neige excessives ou trop faibles. En cas de quantités excessives de neige, une maquette peut aider à choisir l'endroit où établir une localité, effectuer la division en lots, localiser et orienter les immeubles, agencer chaussées et aires de stationnement, ou déterminer la configuration des rigoles et caniveaux. Lorsqu'il n'y a pas assez de neige, la maquette peut montrer quelle est la meilleure façon de la capter afin d'assurer une alimentation en eau suffisante, et elle peut indiquer les endroits où accumuler la neige afin de l'utiliser comme matériau de construction pour les murs et les routes de neige.

Malgré les progrès réalisés dernièrement dans ce domaine, l'étude de la neige au moyen de maquettes, en tant que technique, n'a pas encore le rayonnement escompté. L'étude sur maquette devrait jouer un rôle plus important dans la conception et l'utilisation des installations. Les gens semblent plus enclins à tolérer les problèmes posés par la neige qu'à faire un effort créateur pour régler ces problèmes; ils préfèrent devoir lutter constamment contre la neige et le vent plutôt que de concevoir des structures adaptées aux éléments. Or, la technique des maquettes peut réduire de beaucoup les besoins en main-d'oeuvre, les inconvénients et les coûts.

### RÉALISATION DE LA MAQUETTE

**Construction de la maquette.** — Trois maquettes avec canal hydraulique ont été construites dans le cas de Baker Lake: la première, à l'échelle de un millièm (1/1000), portant sur l'ensemble du site du village et du terrain environnant; la deuxième, à l'échelle de un quatre centièm (1/400), reproduisant un couloir traversant Baker Lake, parallèle à la direction des vents dominants; la troisième à l'échelle de un quatre centièm (1/400), représentant la zone voisine d'un site éventuel de centre de loisirs.

La maquette du site du village et du terrain environnant était large d'environ de 2,4 m et longue de 3,7 m. Elle a été construite sur un socle de 2,4 m de diamètre permettant sa rotation pour simuler ainsi les changements de direction du vent. Le socle était en bois, en béton et en plasticine. Le béton et la plasticine ont permis de façonner le terrain à l'échelle, tandis que la plasticine, dans la partie réservée au village, a facilité la localisation et la disposition des immeubles. Les maisons, les réservoirs et autres structures étaient en bois.

Le couloir à travers Baker Lake fut modelé sur du contre-plaqué de 13 mm mesurant 0,76 par 1,52 m. À part deux dômes en plastique, les maisons, les réservoirs et autres structures étaient en bois. Le terrain ne fut pas modelé, de façon que la hauteur verticale réduite et une vitesse constante de l'eau d'essai ("vitesse du vent") agissant sur les immeubles puissent être simulées dans le canal d'essai.

La maquette du centre de loisirs était en contre-plaqué de 0,76 mm, mesurant 0,91 m de large et 2,4 m de long, à une échelle de 1/400, généralement semblable à la maquette du couloir. Les maisons et autres structures étaient en bois. On n'a pas essayé de simuler la topographie, à cause de son effet contraire sur la vitesse de l'eau. Le but de cette maquette était de choisir l'orientation du centre de loisirs qui permettrait de réduire les effets négatifs de l'amoncellement de neige.

**Essai de la maquette du village et du terrain.** — La maquette du village et du terrain environnant fut mise à l'épreuve dans un canal d'essai d'une largeur de 2,4 m, avec un débit d'eau de 0,98 m/s se déversant sur le village jusqu'à atteindre 0,23 m. La vitesse de l'eau en amont était de 0,26 m/s, et elle déferlait sur le village à 0,18 m/s. Du sable fut introduit dans l'eau à raison de 1,36 kg/mn pendant 40 minutes, pour simuler la poudrière pendant

tout un hiver. Cet arrangement simula au mieux le type de congères observées au cours du dernier hiver à Baker Lake, mais on ne put obtenir qu'une approche qualitative. Des critères plus précis ne furent pas accessibles car les vitesses de l'eau supérieures à 0,18 m/s entraînaient la formation de dunes de sable sur la maquette. Plus hautes que la plupart des immeubles, ces dunes détruisaient les amoncellements de neige autour d'elles.

Autre problème important avec cette maquette: la topographie particulière de Baker Lake et les limitations de la profondeur d'eau dans le canal d'essai du laboratoire. Même à l'échelle de 1/1000, la maquette présentait une différence d'élévation de 7,6 à 10,2 cm d'un côté à l'autre. Une profondeur d'eau de 15,2 cm à la partie supérieure du terrain signifiait une profondeur de 22,9 cm au bas du village. Le sable transporté vers le village se déposait par suite d'une vitesse moindre. Il en résultait deux effets préjudiciables: le sable se déposait en amont du village, alors qu'en réalité peu de neige s'accumulait sur la toundra près du village dans le sens du vent; dans la portion du village faisant face au lac il y avait un dépôt de sable plus grand que l'amoncellement de neige correspondant. On peut voir sur la maquette un dépôt de sable uniforme sur le village avec un certain amoncellement où la neige se superpose, mais cela ne représente pas exactement les conditions réelles. Cependant, résidants et fonctionnaires gouvernementaux furent généralement surpris des résultats obtenus.

Le dépôt uniforme sur le village causa des difficultés. Par exemple, des pare-neige d'une hauteur de 1,8 ou 2,4 m ne purent pas être modelés avec précision car le sable les ensevelissait. Néanmoins, plusieurs autres solutions furent testées sur cette maquette pour essayer de réduire les problèmes d'amoncellement; elles sont décrites ci-après.

Des pare-neige (c.-à-d. des clôtures de lattes) d'une hauteur de 1,8 m furent installés en amont du village à environ 15,2 cm (168 m en réalité), des maisons. Comme prévu, les pare-neige n'eurent pas d'effet visible sur l'amoncellement dans le village, et ils furent très rapidement ensevelis. Les pare-neige pourraient servir à accumuler une certaine quantité de neige sur la toundra en amont du village; la neige pourrait être entassée pour former des murs selon le procédé décrit.

Des murs de neige continus d'une hauteur de 6,1 m (côté vertical face au vent) furent simulés à environ 6 po et 1 pi (152 et 305 m en réalité) de la ville, sous le vent. Ils furent recouverts de sable supposément aux environs du 10 février et à la fin de "l'hiver" il n'y avait pas de différence visible en ce qui concerne l'amoncellement de neige dans le village.

Vu que l'efficacité des murs de neige simulés de 6,1 m de haut était réduite par le dépôt de sable en amont du village, ils furent placés en continu avec un côté vertical exagéré (équivalent à une hauteur de 12,2 m). Bien que plus efficaces pour arrêter la neige, ces murs d'une hauteur de 12,2 m n'eurent toujours pas d'effet visible au moyen de la maquette.

Des murs de neige étagés, ayant un côté vertical exagéré furent construits à environ 305 m du village, dans le sens du vent. Cette disposition a permis de retenir plus de neige que les murs de neige continus.

On a alors soulevé toutes les maisons à 1,52 m du sol et on les a posées sur des pilotis, afin que plus de neige puisse traverser le village. Bien que les maisons elles-mêmes étaient moins ensablées, le volume de sable retenu dans le village indiquait que très peu ou pas de neige avait traversé le village. Le dégagement plus important observé autour des maisons était peut-être dû au fait que celles-ci avaient été relevées au-dessus du sable accumulé à moins qu'il ne tienne à la redistribution du sable (profondeur plus uniforme).

On posa les maisons sur des plaques de gravier simulées, hautes de 1,52 m. Cette méthode, laissa aussi les maisons plus dégagées, particulièrement là où elles étaient normalement ensevelies sous la neige. Cependant, là encore cet effet provenait de la surélévation des maisons ou de la redistribution de l'amoncellement, car le même volume de sable était retenu dans le village.

Dans une autre disposition, les maisons furent installées au niveau du sol, le côté étroit de la maison sous le vent. Cette disposition laissa les maisons plus dégagées, c'est-à-dire qu'aucune d'entre elles ne fut ensevelie. La partie sud-ouest du village avait toujours le plus grand amoncellement; cependant, l'avantage de cette disposition tenait toujours à la redistribution car à peu près le même volume de sable était retenu dans le village.

Les maisons furent alors orientées avec leur encoignure face au vent. Puisque aucune maison ne fut ensevelie, cette disposition s'est montrée avantageuse et devrait être vérifiée à plus grande échelle.

Ensuite, on a orienté les rues parallèlement à la direction des vents dominants, les maisons jouxtant ces rues. Cette disposition laissa les maisons à nu mais concentra la neige entre les rangées de maisons, dans les rues.

D'après les observations sur place, les réservoirs de combustible et les maisons à dôme géodésique restaient relativement dégagées; ces structures et d'autres encore furent donc incorporées à la maquette. Si elles sont placées derrière le village, les maisons à dôme géodésique ne sont pas ensevelies du côté faisant face au vent mais elles

créent de grosses dunes en aval. Des modifications apportées aux dômes géodésiques ont créé un amoncellement similaire de la neige. Une longue maison mobile fut également reproduite sur maquette, mais aucune réduction de l'amoncellement n'a été observée. Pour le dernier essai, on a débarrassé le site actuel de Baker Lake reproduit sur la maquette de toutes les maisons. Le volume de neige retenu dans les limites du village resta à peu près le même, ce qui contredit l'observation faite sur de longues années d'un résidant local, Ken McCulloch. Malheureusement, nous ignorions à ce moment que M. McCulloch aurait pu nous renseigner sur la région qui nous intéressait. Car il est évident d'après son expérience que la maquette sans maison aurait dû être essayée en premier. Cependant, au début des essais, nous savions seulement que certaines maisons avaient été ensevelies, du moins à la fin de l'hiver.

M. Ken McCulloch, habitant Baker Lake depuis 21 ans, fut contacté afin de décrire les congères à Baker Lake, avant la construction de la plupart des immeubles actuellement en place. D'après lui, le site en lui-même, sans constructions, ne présentait généralement pas de problème de congères, sauf à l'extrémité est du village, au pied d'une pente, où un amoncellement de neige de 9,1 m est courant. Il souligna que la neige s'accumule généralement autour des immeubles et autres obstacles tels que les réservoirs. Pour souligner ce point, il précisa qu'une fois on avait construit plusieurs maisons dans une zone sans neige, mais on dut les déplacer à cause de la quantité de neige accumulée. Le même problème devait se déclarer au nouvel emplacement choisi.

M. McCulloch a également noté que la distribution des congères variait d'une année à une autre. Cela était à prévoir, car la direction du vent pendant ou après la première chute de neige établit l'emplacement des congères que les tempêtes de neige ultérieures viennent grossir. Les changements de direction et d'intensité du vent, en plus des variations de chutes de neige, d'une année à l'autre, influent sur la distribution des congères.

**Essai de la maquette du couloir.** — Au cours de la construction et de la mise à l'essai de la maquette d'une partie du village, à une échelle de 1/400, on n'a pas essayé de simuler la topographie de la région. Le manque de profondeur d'eau dans le canal de 0,76 m de largeur excluait cette option, mais surtout on désirait une vitesse constante de l'eau.

Au cours des premières séries d'essais, du sable fut projeté sur la maquette à l'aide d'un appareil distributeur en plexiglas monté sur le canal. Des expériences avec différents modèles de distributeurs, divers taux de sable projeté et diverses positions des appareils ont permis de très bien simuler, sur la maquette, l'amoncellement de neige. Les maisons des trois premières rangées en amont furent ensevelies jusqu'au toit et un certain nombre de maisons des deuxième et troisième rangées furent complètement recouvertes, comme on avait pu l'observer sur place. Au centre de la maquette, il se forma de longues bandes sinueuses, atteignant le haut des toits; le type d'amas observé autour de l'école, des réservoirs et des maisons à dôme géodésique concordait avec les observations faites sur place. Huit maisons montées sur la maquette à la place des réservoirs existants furent ensevelies jusqu'au faite du toit.

Différents modèles de murs de neige furent installés sur la maquette, et on a utilisé le distributeur en plexiglas. Trois lignes de murs de neige incurvés d'une hauteur de 19 mm (7,6 m en réalité) furent placées à 122 m des maisons. Lorsque la courbure du mur de neige s'arrondissait en aval, on observait des zones entièrement dégagées sur la maquette. Deux lignes de semblables murs de neige furent construits afin d'essayer d'obtenir le même effet. On observa le même dégagement se prolongeant depuis la partie concave des murs.

Deux lignes de murs antineige étagés, en fil de fer, (hauteur réelle de 9,1 m), furent également montées sur la maquette et l'on put observer un ensevelissement moindre des maisons.

Une deuxième série d'essais fut effectuée en plaçant du sable à l'avant de la maquette, le débit d'eau charriant le sable en aval. Des amoncellements semblables aux précédents furent observés; en outre, de grandes dunes se formèrent à l'avant de la maquette. Un mur antineige continu d'une hauteur de 19 mm (7,6 m en réalité), placé sur la maquette à 25,4 cm (100,6 m en réalité) des maisons, se révéla suffisamment haut pour augmenter la vitesse de l'écoulement. Le sable passait plus rapidement par-dessus le mur au lieu d'y rester collé.

Un essai final fut effectué après avoir soulevé les maisons de 4,2 mm (1,52 m en réalité) au-dessus de leur socle. Les congères observées dans le village furent les mêmes qu'auparavant, mais des zones dégagées furent observées autour de certaines maisons.

**Essai de la maquette du centre de loisirs.** — On a testé la maquette du couloir couvrant le centre de loisirs de Baker Lake dans un canal hydraulique de 0,91 m de large et 13,4 m de long, permettant un contrôle précis du volume et de la profondeur de l'eau. Après de nombreux essais préliminaires au moyen de sable Ottawa F-140, on a conclu qu'en déversant 0,57 m<sup>3</sup>/s d'eau jusqu'à une hauteur de 28 cm avec une vitesse de l'écoulement de 0,22 m/s, on simulait au mieux les types d'amoncellement de neige à Baker Lake.

La maquette fut d'abord testée sans le centre de loisirs. Un petit amas naturel apparut à l'endroit où devait être construit le centre de loisirs, mais la reproduction des autres zones fut assez exacte. On a ensuite utilisé la maquette pour évaluer cinq orientations du centre.

Orientation vers le sud, entrée à l'extrémité sud. — Des cinq alignements essayés, celui-ci produisit l'amoncellement le plus fort à l'entrée du centre de loisirs. L'extrémité opposée restant sans neige, cela suggère une rotation à 180 ° de l'alignement. La charge de neige sur la voûte principale était assez grande.

Orientation vers le nord, entrée à l'extrémité nord. — Cette orientation paraît devoir protéger l'entrée contre l'accumulation de neige lorsque le vent vient du nord. On put déduire de ces deux premiers essais que les vents du sud (rarement causes de poudrière), pourraient bloquer l'entrée s'ils étaient suffisamment forts pour produire une poudrière. La charge de neige sur la voûte principale était assez grande.

Orientation vers le nord-nord-ouest, entrée au nord-ouest. — Cet alignement entraîna des amoncellements très semblables à ceux rencontrés avec l'orientation vers le nord. On a estimé que les vents venant du nord et du nord-ouest (directions du vent les plus susceptibles d'entraîner une poudrière), maintiendraient l'entrée dégagée. La charge de neige sur la voûte principale était assez grande.

Orientation parallèle à la rue principale, entrée au nord-ouest. — Avec le centre de loisirs orienté parallèlement à la rue principale, l'entrée resta dégagée et la charge de neige sur la voûte principale fut réduite de façon considérable.

Orientation perpendiculaire à la rue principale, entrée au nord-est. — Avec le centre de loisirs orienté à angle droit par rapport à la rue principale et avec l'entrée au nord-est, il est rare que celle-ci soit dégagée. La charge de neige sur le toit dans ce cas paraît être la plus lourde pour les cinq orientations étudiées.

#### **RECOMMANDATIONS À PARTIR DES RÉSULTATS DES ESSAIS**

**Village et terrain environnant.** — Les résultats des essais sur maquette indiquent que des obstacles imposants installés au vent réduiraient l'amoncellement de neige à Baker Lake. Des murs de neige échelonnés, que l'on pourrait créer en entassant de la neige seraient, plus efficaces qu'un mur continu.

Toutefois, l'efficacité des murs de neige échelonnés n'était pas assez claire pour que l'on puisse recommander cette solution à l'exclusion des autres. On a cependant recommandé de construire au vent une section d'essai longue d'environ 305 m en entassant de la neige à 152 m des maisons les plus proches, qui sont actuellement les pires victimes (par exemple, celles situées immédiatement au nord-ouest des grands réservoirs). Si ces murs de neige s'avèrent efficaces, de plus grandes sections devront être construites sur place, la maquette servant toujours de modèle. Les aspects économiques de murs permanents ainsi que leur efficacité devront être évalués.

Nous avons effectué d'autres essais avec la maquette pour déterminer un site où les habitations seraient moins touchées par les congères. D'après les résultats, les maisons alignées en rangs parallèles aux vents dominants seraient moins touchées par la neige amoncelée que ce n'est le cas actuellement. Si on ajoute des maisons en amont, autour de la zone résidentielle actuelle (rues est-ouest), certaines habitations qui ne l'étaient pas seront touchées par les amoncellements de neige, les nouvelles maisons étant elles-mêmes ensevelies sous la neige. De toutes les zones testées, les plus prometteuses pour le développement résidentiel sont voisines de terrains appartenant au ministère des Transports à l'extrémité est du village, ou des maisons actuelles à orientation nord-nord-ouest situées à l'extrémité ouest du village. Aux deux endroits, il serait souhaitable de prolonger les rangées existantes car les maisons restent relativement dégagées et n'ont pas tendance à être ensevelies; par contre, les rues adjacentes sont bloquées par la neige. L'approvisionnement par véhicules ordinaires pourrait donc rester problématique même si l'orientation des rues était conforme à celle du vent.

**Maquette du couloir.** — Les résultats obtenus nous amènent à faire les recommandations suivantes:

- 1) Si on élimine les réservoirs de stockage, leur emplacement actuel ne devra pas servir à construire des habitations traditionnelles à un seul étage.
- 2) Il faudrait tester sur place des murs antineige, tel que nous l'avons indiqué précédemment.
- 3) Le soulèvement d'habitations à un seul étage au-dessus du niveau du sol ne doit pas être considéré comme une solution aux problèmes de congères à Baker Lake. Relever les maisons permet d'éviter qu'elles ne soient inondées, sans cependant réduire la quantité de neige retenue dans la ville.

**Maquette du centre de loisirs.** — Selon les résultats, on pourrait éviter l'obstruction de l'entrée du centre de loisirs en l'orientant de manière que l'entrée soit face au nord-nord-ouest. Étant donné que les vents les plus susceptibles de causer une poudrière viennent du nord ou du nord-ouest, on conseille de construire le centre de lo-

sirs parallèlement à la rue principale (nord-ouest); l'entrée resterait dégagée en raison des changements fréquents de direction des vents. De plus, cette orientation paraît devoir réduire la quantité de neige s'accumulant sur le toit.

### DIFFICULTÉS DE REPRODUCTION, SUR MAQUETTE, DE L'AMONCELLEMENT DE NEIGE

L'amoncellement de neige simulé sur maquette présente des problèmes théoriques et pratiques. La plupart des problèmes pratiques peuvent être résolus; cependant, l'utilisation de sable charrié par de l'eau pour simuler la neige ou les particules de glace dans l'atmosphère soulève des problèmes théoriques.

**Problèmes théoriques.** — Au cours des travaux théoriques sur l'amoncellement de neige effectués au cours des dernières années, on a essayé de définir des critères pour la production de maquettes simulant, au moyen de sable charrié par l'eau, les mouvements de la neige dans l'atmosphère. Avec la gamme d'échelles courante de 1/50 à 1/1000, on ne peut rejoindre l'échelle géométrique, le rapport entre le diamètre des particules de neige et le diamètre des particules de sable étant généralement beaucoup plus grand (1/1 ou 1/10). Il en résulte une déformation de l'évaluation du temps et de la hauteur de l'amoncellement, qui s'écarte ainsi de la réalité. L'utilisation de sable charrié par de l'eau constitue donc une approche plus qualitative que quantitative. Néanmoins, des échelles de longueur non déformées sont utilisées.

Selon l'étude la plus récente sur le sujet (Calkins, 1975), le choix d'une échelle géométrique et celui d'une échelle de débit exacte ne sont pas critiques à cause du coefficient de Reynolds sur l'indépendance des conditions de débit,  $2 \times 10^{-4} < R < 2 \times 10^{-6}$ . Par conséquent, dans des conduites à rayon moyen de 0,20 à 0,63 (comme ceux qui sont utilisés au cours de ces études), le coefficient de Reynolds doit exister pour des vitesses supérieures à 0,10 m/s; les vitesses envisagées dans cette étude équivalaient à plus du double de cette valeur.

**Problèmes pratiques.** — Les maquettes reproduisant l'amoncellement de neige ne sont que qualitatives; elles servent uniquement à évaluer l'applicabilité des solutions proposées. Elles sont particulièrement commodes lorsque le type de problème de congères auquel on a affaire est connu. Sur maquette, on modifie la distribution des congères en ajoutant ou en retirant des immeubles, ce qui donne une idée qualitative de ce qui peut se produire en réalité. Cependant, puisqu'une importante masse d'air (vent) est représentée par seulement quelques pouces d'eau, la hauteur à simuler doit être réduite au minimum. Autrement dit, un terrain relativement plat ou des solutions n'impliquant pas de murs très élevés seront plus faciles à reproduire sur maquette qu'un terrain accidenté ou des murs très élevés.

Autres questions pratiques de moindre envergure: type et coût du sable, coût de l'eau, dimensions de la maquette. Il faut aussi savoir à quel moment il convient de simuler les conditions réelles. On a utilisé, pour la maquette du village et du terrain et pour celle du couloir, toute la gamme granulométrique du sable Selkirk Silica; c'est le grain le plus fin (60-100) qui donna les meilleurs résultats. Pour la maquette du centre de loisirs, on a utilisé du sable Ottawa F-140; il donna de bons résultats, — meilleurs que le plus fin des sables Selkirk Silica. Cependant, le sable F-140 coûtait plus du double du sable Selkirk Silica, et acheté en petites quantités, il coûtait cinq fois plus.

Si on teste les maquettes dans des canaux de grande taille, les systèmes de recirculation d'eau réduisent sensiblement les coûts d'alimentation en eau, moyennant des frais de pompage mineurs. Avec les systèmes de recirculation toutefois, il faut prévoir des collecteurs de sable appropriés pour préserver les pompes de l'usure. Or, le sable utilisé étant très fin, il est presque impossible de l'éliminer complètement de l'eau recirculée.

La grandeur maximale de la maquette dépend de l'étendue de la zone minimale que l'on veut simuler ainsi que de la taille du canal d'essai; on doit également tenir compte des limites de profondeur d'eau dans le canal. La question des dimensions minimales de la maquette est reliée aux paramètres hydrauliques traités dans la section "problèmes théoriques".

Pour déterminer à quel moment il convient de simuler les conditions réelles, on se rapporte au travail sur le terrain et aux renseignements pris auprès des habitants. Toutefois, il peut arriver que la maquette paraît reproduire exactement les conditions réelles mais que le mécanisme de dépôt de sable diffère fortement de l'amoncellement de neige réel. Dans un tel cas, des solutions valables sur la maquette pourront s'avérer inapplicables.

## APPLICATIONS

À la suite de l'étude sur maquette, le village prit l'initiative, cet hiver, de construire des murs de neige aux emplacements désignés. L'un des emplacements choisis concernait une route anciennement bloquée par la neige, reliant le village à l'aéroport. Des rapports en provenance de la localité ont établi que les murs de neige récemment construits ont permis de maintenir la route ouverte, pour la première fois depuis de nombreuses années.

La Société de logement de Yellowknife a noté une autre conséquence positive de nos recommandations. Le Conseil avait du mal à interdire l'occupation des taudis abandonnés. Ce problème peut maintenant être réglé puisque les habitants sont en faveur du déplacement de ces maisons vers les zones résidentielles expérimentales futures, où on essaiera de maîtriser les effets de l'amoncellement de neige.

Depuis la conclusion de notre étude, beaucoup de nos clients se sont montrés intéressés par notre travail. Nous pensons que le travail sur maquette peut être d'une grande valeur pour les programmes et projets suivants:

- 1) Programmes d'aménagement de terrains. – Une maquette pourrait démontrer les effets nuisibles de la neige sur un développement proposé, avant d'acquérir les terrains et de procéder à la construction.
- 2) Orientation de nouveaux immeubles et étude de la géométrie des toits pour éviter le blocage continu des entrées ou des aires de stationnement, aussi bien que les accumulations de neige inutiles sur les toits.
- 3) Choix du tracé des rues et grandes routes ainsi que des pentes et traverses pour éviter les obstructions par la neige.
- 4) Étude du tracé des réseaux d'adduction pour réduire les effets négatifs de l'accumulation de neige dans les conduites.
- 5) Captage de la neige pour l'utiliser comme source d'alimentation en eau, comme matériau pour les routes de neige, élément isolant ou comme matériau pour les murs de protection contre le vent et la neige.
- 6) Étude architecturale d'habitations devant être situées dans une zone d'accumulation inévitable de neige. Des entrées peuvent être aménagées sur le toit; on peut utiliser divers déflecteurs pour éviter l'amoncellement de neige aux sorties.
- 7) Les programmes de plantation d'arbres (protection contre la neige ou considérations esthétiques), devraient être étudiés sur maquette afin d'en considérer les effets.
- 8) Étude de l'emplacement de camps et de chantiers temporaires pour l'industrie pétrolière et minière.
- 9) Aéroports utilisant différents types de déflecteurs pour maintenir dégagés les phares d'atterrissage et autres installations.
- 10) Structures linéaires en surface, comme les conduites d'hydrocarbure et les collecteurs associés à l'industrie du pétrole et du gaz.
- 11) Recherche sur l'environnement biologique influencé par la profondeur de la neige ou de l'eau (par exemple, viviers et itinéraire de migration des oiseaux).
- 12) Municipalités et services chargés des programmes de déneigement et de stockage de la neige.
- 13) Planification et normalisation des critères de développement pour l'utilisation optimale des voies publiques en ce qui concerne la géométrie et les dimensions affectant le déneigement et le stockage de la neige.

## RECOMMANDATIONS

Baker Lake étant un emplacement idéal pour étudier les phénomènes reliés à l'amoncellement de la neige, on devrait, à notre avis, y lancer des programmes expérimentaux pour trouver des solutions aux problèmes de congères présentant un intérêt tant national qu'international.

Avant d'adopter des programmes plus longs et plus coûteux, nous recommandons de réaliser les programmes-pilotes suivants:

- a) Aménager des sections de murs antineige en utilisant la neige comme matériau de construction.
- b) Orienter les nouvelles rues conformément aux vents dominants, en commençant par une petite section expérimentale.
- c) Transporter les maisons abandonnées dans les futures zones résidentielles pour étudier les effets de l'amoncellement de neige pendant tout l'hiver.
- d) Construire des habitations expérimentales spécialement conçues pour supporter l'ensevelissement sous la neige; recueillir des renseignements auprès des résidents pendant toute une année.

## CONCLUSION

Une maquette de sable et d'eau peut aider à anticiper les problèmes que risque de poser la neige; la maquette permet également de trouver des solutions aux problèmes existants, à un coût raisonnable. Étant donné que les coûts de la fabrication et de l'utilisation d'une maquette sont minimes comparativement à ceux d'une installation réelle sur les lieux (qui pourra s'avérer inutile), l'avantage de l'utilisation de maquettes pour l'étude des problèmes posés par la neige est tout à fait évident.

## RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Calkins, D.J. "*Simulated Snowdrift Patterns – Evaluation of Geometric Modelling Criteria for a Three Dimensional Structure*", rapport spécial n° 219, Cold Region Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, U.S.A.

## HUITIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### LES SYSTÈMES DE CAPTAGE DES EAUX À YELLOWKNIFE

J. Richard Prentice et George A. Srouji  
Reid, Crowther and Partners Limited  
Edmonton (Alberta)

#### INTRODUCTION

La ville de Yellowknife est la capitale des Territoires du Nord-Ouest et ses 12 000 habitants en font le centre urbain le plus septentrional de tout le Nord occidental. La ville est construite en bordure de la baie de Yellowknife, sur la rive nord du Grand lac des Esclaves, à environ 1 000 kilomètres à vol d'oiseau d'Edmonton (Alberta) et à 440 kilomètres au sud du cercle Arctique. Le site se trouve à la limite ouest du bouclier précambrien, dans l'immense zone de pergélisol discontinu.

Le climat de la région de Yellowknife est de type subarctique et continental. Les températures moyennes de janvier se situent entre -12,2 °C et -32 °C; celles de juillet, entre 40,4 °C et 11,3 °C. Les vents dominants soufflent de l'est, à une vitesse moyenne de 16,4 km/h.

Les précipitations annuelles à Yellowknife sont de 250 mm, 56 p. cent environ tombant sous forme de pluie pendant les mois d'été et 44 p. cent sous forme de neige pendant les mois d'hiver.

La ville de Yellowknife n'a été fondée que récemment. De 1771, année où Samuel Hearne (agent de la Compagnie de la Baie d'Hudson), a exploré la rive du Grand lac des Esclaves jusqu'en 1930, quand on a découvert de la pechblende au Grand lac de l'Ours, la région est restée pratiquement déserte: il n'y avait nulle activité, aucun village. Pourtant, on avait trouvé de l'or dans la baie de Yellowknife dès 1896.

La découverte de pechblende provoqua l'essor des activités minières dans la région du bouclier précambrien: le hameau dont est née la ville de Yellowknife, alors réduit à quelques tentes et cabanes sur la rive du Grand lac des Esclaves au pied de Pilot Mound, se développa rapidement. Il était situé entre deux zones minérales importantes, sur une étroite bande de terre s'avancant dans le lac. Les prospecteurs découvrirent de l'or sur la rive est de la baie de Yellowknife, à l'embouchure de la rivière, en septembre 1934. Quatre ans plus tard, la Consolidated Mining and Smelting Company of Canada entreprit la mise en valeur commerciale des gisements d'or à la "Con" Mine.

Au début de 1940, plusieurs mines étaient exploitées dans la région. Autour de chacune d'elles se trouvait un village, et les villages reliés entre eux par une "industrie de services" constituaient "la vieille ville". Quand la population passa à environ 3 000 personnes, il devint évident que la vieille ville avait grandi trop vite. Comme elle se prêtait mal à l'installation de services d'eau et d'égout, on fit un levé de terrain en 1945 en vue de construire une "nouvelle ville". En 1947, un important programme de construction, comprenant un réseau d'eau et d'égout, était en oeuvre.

La nouvelle ville se développa régulièrement jusqu'à l'été 1953, alors qu'elle devint district municipal et élut son premier maire. Son essor se poursuivit; en 1967, elle devint la capitale des Territoires du Nord-Ouest. La nouvelle ville, qui est maintenant le quartier central des affaires à Yellowknife, est entourée de banlieues en pleine croissance urbaine.

Le relief est moyennement accidenté, la plupart des collines ne s'élevant pas à plus de 60 m au-dessus de la baie de Yellowknife, mais le terrain est rude. Les affleurements rocheux couvrent une grande partie de la région et les dépressions ont été remplies de dépôts lacustres, d'argile ou de sable, gravier ou limon apportés par les glaces. La végétation est pauvre, surtout sur les affleurements rocheux, et n'est composée pratiquement que de pins chétifs. De nombreux petits lacs émaillent la région environnante.

Les caractéristiques du sol rendent difficiles l'installation d'équipement souterrain. C'est pourquoi elles ont été considérées comme l'un des facteurs majeurs lors du tracé de la nouvelle ville en 1945. La glaciation a modifié l'assise rocheuse et a déposé des sols glacio-lacustres à granulométrie fine. La plus récente glaciation s'est produite au pléistocène et la glace s'est probablement retirée de la région il y a moins de 10 000 ans. Lors du recul des glaciers, un immense lac barré par la glace s'est formé: le lac glaciaire McConnell. Ce lac s'étendait du Grand lac de l'Ours au bassin du Grand lac des Esclaves lors de la déglaciation de la région.

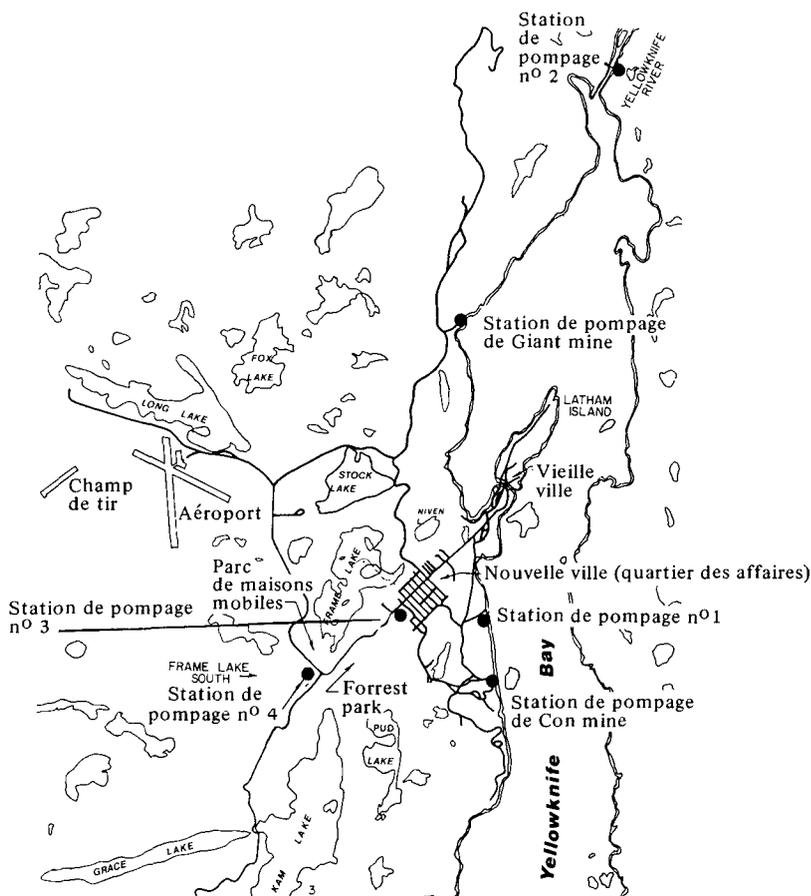


Figure 1 Ville de Yellowknife

Les études effectuées par Klohn, Leonoff Consultants Ltd. montrent que dans certaines des plus importantes aires de développement à Yellowknife le sol est en grande partie composé de limon et d'argile glacio-lacustres à grains fins, avec des dépôts mineurs de sable fin et de gravier. Elles indiquent également que la plus grande partie de la ville est située dans une vaste zone de pergélisol discontinu, les conditions sous la surface variant en fonction de la profondeur de la roche, de la nature et de la richesse des sous-sols, et de l'état du pergélisol.

L'épaisseur de la roche varie de 0 à plus de 30 m, et la surface rocheuse est si accidentée que l'on ne peut prévoir les endroits où il faudra procéder à des excavations à moins de faire des essais de forage très rapprochés les uns des autres. La couche de sol qui chevauche l'assise rocheuse non exposée est ainsi composée (de haut en bas): une épaisseur moyenne de 300 mm de tourbe compressible hautement organique, contenant de petites quantités de limon et d'argile et ayant une très forte teneur en humidité; une couche de limon brun avec un peu d'argile, moyennement plastique, une trace de sable et une trace de gravier; sur la roche, une couche de limon gris clair avec de petites quantités de sable uniforme et fin, une trace d'argile et une trace de gravier fin.

Le sol gelé qui se trouve couramment sous les terres vierges est appelé "pergélisol chaud" et peut dégeler à la moindre intervention de l'homme. La température annuelle moyenne du sol à une profondeur de 1 m est de l'ordre de -1 °C.

Le plus souvent, on a rencontré du pergélisol au cours d'excavations entreprises pour la construction des réseaux de services publics à Yellowknife. Les zones faisant exception étaient généralement des zones récemment dégélées par suite de perturbations à la surface liées aux activités de l'homme. Cette tendance marquée au dégel crée des problèmes de tassement des installations souterraines. On a mesuré des retraits de plus de 11 p. cent

dans le limon brun et l'argile, et de 8 p. cent dans le limon gris. La part du tassement est particulièrement élevée dans les pergélisols riches en glace, qui ne peuvent pas toujours être contournés par les réseaux publics. De plus, une fois qu'ils ont dégelé, les limons du pergélisol sont particulièrement sensibles au gel. Le fait qu'ils soient plus actifs que les limons qui ne sont pas situés dans une zone de pergélisol pose des problèmes très difficiles à résoudre.

### SYSTÈME DE CAPTAGE DES EAUX

**Évolution.** — Les premiers éléments du réseau de distribution d'eau de Yellowknife ont été construits pour alimenter la nouvelle ville en 1947 et 1948, mais ils ne forment maintenant qu'une petite partie du système global et servent le quartier central des affaires.

La nouvelle ville étant construite sur une étendue relativement plate de sol sableux, on a pu aménager un système quadrillé de routes, doublées de canalisations souterraines d'eau et d'égout. Les sols sableux, couverts de tourbe, étaient très souvent gelés; la teneur en humidité était élevée. La construction s'est donc avérée difficile: on a dû installer un drain souterrain dans la tranchée, au-dessous du niveau de la canalisation d'égout, pour évacuer l'eau du sol. Ce drain, comme les canalisations d'égout, était un tuyau en métal ondulé, asphalté et galvanisé.

Ceux qui habitaient de longue date la "vieille ville" baptisèrent le nouveau centre "Blunderville", car le nombre de bévues commises au cours de la construction semblait impressionnant! Ce nom resta à la nouvelle ville pendant des années, et pourtant les conditions étaient bien meilleures dans les nouveaux que dans les anciens quartiers. "Blunderville" était une localité moderne, dotée d'un réseau souterrain d'eau et d'égout.

L'eau qui alimentait la nouvelle ville venait du Grand lac des Esclaves. Elle était chlorée, chauffée et pompée à la station de pompage n° 1 (située sur la rive du lac près de la ville), grâce à un réseau à deux canalisations, la canalisation d'alimentation et la canalisation de retour se trouvant côte à côte. L'eau qui était renvoyée dans ce système de recirculation était rechauffée et pompée à nouveau dans le réseau de distribution.

Ce système, qui servait les nouveaux quartiers, fut prolongé dans diverses directions en fonction du développement urbain. Au milieu des années 1960, le système d'origine avait atteint ses limites pratiques. Par suite des prolongements du réseau, la pression différentielle était insuffisante entre les canalisations d'alimentation et de retour pour maintenir un débit suffisant; certaines extrémités du système gelèrent. On ajouta alors divers dispositifs aux canalisations d'égout avoisinantes: système de rubans chauffants internes, petites pompes de circulation et purgeurs. En dépit de ces mesures, qui ajoutèrent considérablement aux coûts d'exploitation, la protection contre le gel ne fut guère meilleure qu'auparavant.

À la fin des années 1960, on construisit une canalisation d'alimentation principale unique, allant de la station de pompage à deux points extrêmes du réseau, pour augmenter les volumes distribués, la température de l'eau aux extrémités et les pressions différentielles, ce qui devait diminuer les risques de gel. Cette canalisation, baptisée "School Draw Line", fut raccordée au niveau de l'avenue Franklin et de la 49<sup>e</sup> rue; le fonctionnement de tout le réseau de la nouvelle ville s'en trouva grandement amélioré.

En 1969, la qualité de l'eau du Grand lac des Esclaves avait tellement baissé qu'il fallut chercher une nouvelle source d'approvisionnement. On construisit une nouvelle prise d'eau et une nouvelle station de pompage (n° 2) au bord de la rivière Yellowknife. Cette nouvelle station fut reliée, par une canalisation sous-marine de 8,5 km de long et 400 m de diamètre traversant le lac, à la station de pompage n° 1 et aux stations de pompage des mines Giant et Con (qui s'alimentaient jusqu'alors à la source du Grand lac des Esclaves). Cette canalisation sous-marine était d'une conception plus complexe que la plupart des canalisations immergées: pour éviter d'avoir à dynamiter sous l'eau un profil rocheux accidenté, on conçut une canalisation qui serait autoporteuse entre les divers points où elle prenait appui sur la roche.

Par suite de l'essor constant de la population à la fin des années 1960, il fallut construire un nouveau bâtiment des pompes et un nouveau réservoir. Ce bâtiment (station de pompage n° 3) fut installé à l'extrémité ouest du réseau; au départ, il était alimenté en eau par le bâtiment des pompes n° 1. Le nouveau système, essentiellement autonome, créait une nouvelle zone de pression et servait le quartier ouest, le nouveau parc de maisons mobiles et le centre correctionnel via un certain nombre de boucles secondaires. Il permettait une capacité de stockage supplémentaire pour la lutte contre l'incendie et constituait pour le quartier des affaires une source d'alimentation auxiliaire à utiliser en cas d'urgence. L'eau du nouveau réservoir est chauffée puis pompée dans les boucles secondaires.

Par la suite, en 1973-74 et en 1975, on installa une nouvelle canalisation principale d'alimentation, partant de la station de pompage n° 1 jusqu'au réseau original à deux canalisations dans le quartier central, pour être rattachée à la canalisation School Draw. Cette nouvelle canalisation contournait Rat Lake pour alimenter le nouveau quartier résidentiel de Forrest Park, situé en bordure de l'ancien réseau. La ville a beaucoup grandi depuis, et elle continue à prendre de l'essor, en particulier dans le nouveau lotissement de Frame Lake South où on prévoit une population de 10 000 habitants. Pour cette raison, et parce que le système a été installé de façon quelque peu décousue depuis 1947, la ville de Yellowknife a demandé à Reid, Crowther and Partners Limited d'entreprendre une étude sur le réseau de distribution de Yellowknife – indiquant quelles additions ou modifications il faudrait lui apporter pour répondre à la demande jusqu'en l'an 2001.

**Composantes.** – Le système comprend actuellement les composantes suivantes :

- 1) source: prise d'eau de la rivière Yellowknife;
- 2) station de pompage n° 2 à la prise d'eau de la rivière;
- 3) canalisation sous-marine jusqu'à la station de pompage n° 1, avec branchements desservant les mines Giant et Con;
- 4) station de pompage n° 1 – station d'origine, construite au bord du lac;
- 5) réseau original à deux canalisations dans le quartier central des affaires;
- 6) canalisation School Draw et système de distribution;
- 7) système de distribution dans le lotissement de Forrest Park;
- 8) station de pompage n° 3 et réservoir de stockage;
- 9) boucle secondaire desservant Mattonabee et le quartier de l'hôpital (quartier ouest), le centre correctionnel de Yellowknife et le parc de maisons mobiles;
- 10) le nouveau réservoir de Frame lake South et la station de pompage n° 4 alimentés par la station de pompage n° 3;
- 11) le système de distribution de Frame Lake South.

L'eau est pompée de la station de pompage n° 2 à la station de pompage n° 1 et aux mines Giant et Con. À son tour, la station de pompage n° 1 alimente le centre commercial de la ville, le quartier de School Draw, le lotissement de Forrest Park et le réservoir de la station de pompage n° 3. De la station n° 3, l'eau est pompée vers le quartier ouest et Frame Lake South.

On prévoit qu'il faudra au moins un autre système avec station de pompage et réservoir de stockage pour acheminer l'eau de la station n° 1 vers le futur lotissement de Niven Lake.

**Points faibles du réseau.** – Même une fois le bâtiment des pompes et le réservoir n° 4 installés, le réseau continuera de présenter des points faibles. Ainsi, chaque litre d'eau consommé à l'extrémité sud du lotissement de Frame Lake South doit passer par la prise d'eau de la rivière, la station de pompage n° 2, la canalisation sous-marine, la station de pompage n° 1 au lac et les canalisations principales de Frame Lake South. Le litre d'eau implique au total onze composantes, dont sept ont été conçues et construites bien avant qu'on envisage d'aménager la région de Frame Lake South. Les composantes installées avant l'ouverture de ce lotissement, qui devrait accueillir plus de 10 000 personnes, n'ont pas les dimensions requises.

Autre point faible: les canalisations principales du quartier des affaires sont les plus anciennes que comporte le réseau. Comme elles ont été conçues il y a très longtemps, pour des conditions fort différentes, elles ne peuvent suffire à la demande (ni rencontrer les exigences du débit d'eau en cas d'incendie), maintenant que de grands édifices commerciaux font place aux petits bâtiments à un seul étage, et que les quartiers résidentiels se développent.

## DÉTAILS DES SOUS-SYSTÈMES

Chacune des quatre stations de pompage de Yellowknife a son propre système de distribution, bien que la station n° 2 ne compte que trois consommateurs: mines Giant, Con et station de pompage n° 1, tous trois avec un sous-système séparé. Deux des quatre bâtiments des pompes ont leur propre réservoir. Les composantes principales du réseau dans son ensemble sont les stations de pompage n°s 3, 4 et 1. Nous décrivons ci-dessous les sous-systèmes des trois stations de pompage.

**Sous-système n° 3.** — Il comprend un réservoir de stockage de 2,27 millions de litres, une station de pompage et un système de distribution d'eau.

Le bâtiment des pompes a été conçu, à l'origine, pour desservir uniquement Mattonabee, le quartier de l'hôpital et les sections 1, 2 et 3 du lotissement de Forrest Park (débit local). Il a donc fallu augmenter sa capacité lorsqu'on a construit le quartier de Frame Lake South.

Pour minimiser les modifications à apporter aux installations, on a décidé de remplacer les trois pompes à joint horizontal par cinq pompes centrifuges verticales de type *pot* et de diviser le système de pompage en deux sous-systèmes; deux des cinq nouvelles pompes pour l'alimentation locale, deux pour l'alimentation de la station de pompage n° 4, la cinquième servant de pompe de réserve pour l'un ou l'autre des deux sous-systèmes. Par conséquent, l'eau alimentant Frame Lake South viendrait de la station de pompage n° 1, par le réseau du quartier des affaires, jusqu'à la station de pompage n° 3 où les deux nouvelles pompes de relais l'achemineraient vers le réservoir n° 4. Bien que ce concept nécessite deux systèmes de pompage séparés au bâtiment des pompes n° 3, la disposition des cinq pompes permet que certaines d'entre elles agissent à l'intérieur de l'un ou l'autre des deux systèmes. La pompe de réserve, en particulier, est conçue pour être utilisée par les deux systèmes.

Le concept de ces deux systèmes n'a pas encore été mis en oeuvre. On a remplacé trois des pompes horizontales à corps bipartite par des pompes à turbine verticale en 1976, mais les deux autres (les deux pompes de relais) ne seront pas en opération avant deux ans.

Une analyse du réseau hydraulique a montré que la capacité du système suffirait à servir la plus grande partie de Frame Lake South. Mais un calcul informatique des températures de l'eau, effectué grâce à un nouveau programme (HTLOSS) mis au point par G.A. Srouji de Reid, Crowther and Partners Limited, a indiqué qu'il n'y avait pas suffisamment de chaleur pour éviter le gel des canalisations desservant la plus nouvelle section (zone 3) du lotissement.

Le système de distribution de ce nouveau lotissement est temporairement alimenté par deux des trois nouvelles pompes de la station de pompage n° 3. C'est un système en treillis doté d'une seule canalisation de retour depuis les extrémités du lotissement jusqu'au réservoir n° 3. L'analyse thermique ayant indiqué qu'une partie du réseau gèlerait pendant les mois d'hiver, il a été décidé d'accélérer le programme de construction de la station de pompage et du réservoir n° 4 pour les mettre en service en 1979.

**Sous-système n° 4.** — Il comprend un réservoir de stockage de 6,82 millions de litres, une station de pompage et un système de distribution d'eau.

La capacité du réservoir permet de répondre aux besoins en eau pour la lutte contre l'incendie, les charges de pointe et l'approvisionnement de secours. La station de pompage est conçue pour servir les 10 000 résidents du nouveau lotissement de Frame Lake South. Ce sous-système présente une caractéristique importante: il peut servir de système d'appoint aux deux autres composantes du réseau (stations de pompage n° 1 et n° 3), si nécessaire.

Le puisard et le réservoir de cette station de pompage ont été conçus comme deux cellules séparées pour faciliter l'entretien. Les canalisations principales de distribution, lorsqu'elles fonctionnent en mode de circulation normal, sont conçues pour répondre uniquement aux demandes de pointe; le débit d'eau en cas d'incendie est assuré à la fois par la canalisation d'alimentation et la canalisation de retour.

Les composantes de ce système sont disposées de manière à pouvoir fonctionner dans quatre types de situation:

1) Situation n° 1. — Exploitation normale. La canalisation d'alimentation ( $\phi$  250 mm) de la station de pompage n° 3 remplit les deux cellules du réservoir de la station de pompage n° 4. L'eau est chauffée puis pompée de la station n° 4 jusqu'aux conduites principales de Frame Lake South dans la canalisation d'alimentation de 250 mm. L'eau qui est renvoyée à la station de pompage n° 4 est réchauffée, puis de nouveau pompée dans le système de distribution.

2) Situation n° 2. — Forte demande (lutte contre l'incendie) en provenance de Frame Lake South. L'eau est automatiquement pompée de la station n° 4 dans la canalisation d'alimentation et dans la canalisation de retour.

3) Situation n° 3. — Urgence dans la ville, ailleurs qu'à Frame Lake South. Puisque le lotissement de Frame Lake South peut être alimenté soit par toutes les pompes, soit par certaines des pompes de la station n° 4, on peut — en cas d'urgence — se servir des pompes non utilisées pour acheminer l'eau du réservoir n° 4 au réservoir n° 3, puis vers le quartier central des affaires, normalement alimenté par la station de pompage n° 1.

4) Situation n° 4. — Arrêt complet de la station de pompage n° 4. Dans ces conditions, l'eau de la station de pompage n° 3 peut contourner à la fois le réservoir et les pompes de la station n° 4. L'eau peut toujours pénétrer dans le bâtiment de la station n° 4 pour fournir un supplément de chaleur, mais sa contribution résulte uniquement de la pression à la station de pompage n° 3. On peut diriger le retour provenant du réservoir de Frame Lake South soit vers le réservoir n° 4, soit vers le réservoir n° 3. En fait, les pompes de la station n° 4 n'ayant pas été livrées à temps, le système a fonctionné de cette façon l'hiver dernier.

**Sous-système n° 1.** — Il comprend un réservoir tampon, les chaudières et les pompes de la station n° 1 ainsi que l'ancien réseau à deux canalisations (1947-48) du quartier central des affaires. Le réservoir tampon, d'une capacité de 4 500 l environ, est rempli, via la canalisation sous-marine, par les pompes de la station n° 2 située au bord de la rivière Yellowknife. L'eau est tirée de ce réservoir, côté aspiration, puis elle est pompée par trois pompes horizontales à corps bipartite jusqu'au système de distribution dans le quartier des affaires, et acheminée jusqu'aux réservoirs n°s 3 et 4.

L'eau de retour, dans le cas de la nouvelle ville, est réchauffée à la station de pompage n° 1 et renvoyée dans les canalisations principales. La station de pompage comprend également une pompe de réserve et un générateur diesel. Le générateur alimente l'usine en électricité en cas de panne. Lorsqu'on utilise la pompe de réserve, de l'eau brute est tirée directement de la baie de Yellowknife.

Vu l'expansion du quartier des affaires et des zones résidentielles, il faut augmenter la capacité des pompes d'alimentation et des pompes à incendie à la station de pompage n° 1. Les exigences relatives au débit d'eau en cas d'incendie dans le quartier des affaires sont de l'ordre de 1,1 million de litres par heure.

Les modifications à apporter à la station n° 1 seront effectuées par étapes. La première, actuellement à l'étude, prévoit l'installation de deux pompes centrifuges verticales qui fonctionneront avec les trois pompes horizontales à corps bipartite maintenant en place. À la deuxième étape on remplacera les trois pompes horizontales par trois pompes centrifuges verticales de type *pot*.

La raison essentielle pour laquelle on a choisi des pompes centrifuges verticales est qu'elles occupent moins de place et nécessitent moins de tuyauterie que les pompes à joint horizontal. De plus, si la qualité de l'eau du lac devait s'améliorer tel que prévu, on pourra tirer l'eau directement du lac, au lieu de passer par la canalisation sous-marine venant de la rivière. On pourrait alors construire un nouveau puisard, remplacer les pompes de type *pot* par des pompes centrifuges verticales avec un arbre et une colonne plus longs, sans avoir à changer la plus grande partie de la tuyauterie.

Lors de la dernière étape, les pompes de réserve à moteur diesel avec joint horizontal seront remplacées par deux pompes à incendie centrifuges verticales et à moteur diesel. Vu le manque de place et les difficultés que présente le bâtiment existant, on se propose d'installer ces nouvelles pompes à incendie dans un local séparé, adjacent à la station de pompage n° 1.

Enfin, bien que l'ancien réseau à canalisation d'alimentation et canalisation de retour présente des avantages pour la protection contre le gel, il ne rencontre plus les exigences du débit d'eau requis en cas d'incendie et ne sera bientôt plus adéquat pour la demande domestique. Le mieux serait de mettre en place un nouveau système en treillis de type traditionnel, pour répondre à la demande croissante. Mais les analyses hydrauliques et les études de température ont montré que la solution la plus réaliste est de combiner le réseau existant à un nouveau système en treillis. Ce nouveau système desservirait le centre commercial de la ville et serait raccordé au réseau existant en différents points. Il permettrait d'obtenir le débit voulu pour l'alimentation en eau du centre commercial, et d'augmenter la capacité du réseau de distribution en prévision de la demande domestique future. Il permettrait également, via le centre commercial, d'accroître l'approvisionnement en eau de la station n° 3 et du futur réservoir du lac Niven.

Pour adapter la station de pompage n° 1 à cet éventuel accroissement de capacité, il faut augmenter la capacité de la station de pompage n° 2 à la rivière. Ce projet d'expansion est maintenant en oeuvre.

## CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION

Le système en place est le fruit d'une longue évolution. Cependant, diverses caractéristiques de conception et de construction du réseau sont maintenant standards, même si elles lui sont propres.

Puisqu'on avait décidé au départ d'éviter autant que possible les canalisations souterraines, on a dû faire des travaux dans des sols sensibles et donc compter non seulement avec des problèmes de gel des conduites, mais aussi des problèmes de tassement dû au dégel et de gonflement dû au gel.

**Tassement dû au dégel** – Le tassement dû au dégel résulte de la diminution de volume entraînée par le dégel d'un pergélisol riche en glace. Le dégel peut être causé par l'enlèvement de la couverture végétale, ou du sol, qui jouent un rôle d'isolant, ou encore par les pertes de chaleur des canalisations souterraines. Étant donné que la profondeur du sol jusqu'à l'assise rocheuse varie considérablement, l'importance du tassement varie elle aussi grandement. Le tassement est particulièrement préjudiciable lorsqu'il se produit sous les canalisations. Au fur et à mesure que la canalisation se tasse, des contraintes apparaissent le long de la canalisation, aux regards de service et en d'autres points, éventuellement, la canalisation se rompt ou se sépare aux joints.

À l'étape qui précède la conception d'un projet, on applique un programme d'essais de forage pour étudier le pergélisol le long du tracé proposé. Ces essais montrent parfois qu'il est préférable de ne pas mettre en valeur des terres qui se prêteraient au développement, tout simplement parce que la construction de systèmes souterrains y serait trop coûteuse. Généralement, ces terres serviront uniquement de parcs. Si le développement est absolument nécessaire, on construira des réseaux d'utilidors au-dessus du sol. Les conditions sont si variables que, même quand les essais indiquent l'absence de pergélisol, il arrive qu'on trouve du pergélisol entre les zones de forage au moment de la construction. Il faut alors prendre des mesures pour prévenir ou minimiser les problèmes. Ces mesures s'inscrivent dans deux catégories : mesures actives et mesures passives.

Opter pour un autre tracé est de toute évidence une mesure active. Cela sera nécessaire si, même avec des mesures préventives, les tassements ou les contraintes anticipées ne peuvent être admises. Ce type de décision se prend sur place, au moment de la construction.

Autre mesure active : on peut faire dégeler le sol des tranchées où seront posées les canalisations et le consolider jusqu'à la profondeur où pourrait éventuellement se produire le dégel naturel.

Troisième mesure active, plus commode lorsqu'elle est appliquée en cours de construction : on peut procéder à des excavations jusqu'à la profondeur de dégel et remplacer le sol instable par un matériau non gélif.

S'il est impossible d'appliquer des mesures de ce type, on peut recourir à d'autres moyens. Par exemple, on peut installer des piliers, ou des poutres latérales ou transversales, sous les canalisations. Cependant, ces piliers et poutres, qui doivent porter le poids des canalisations et de la terre qui les recouvre, sont très coûteux.

Exemple de mesure passive : on peut isoler les canalisations pour limiter les pertes de chaleur qui provoquent le dégel des sols riches en glace. À Yellowknife, le sol est en général trop sensible et il n'existe pas de système qui puisse empêcher de façon sûre le dégel d'un sol dont l'équilibre aura été perturbé par la construction de routes ou de canalisations.

**Soulèvement dû au gel** – Le gel provoque le gonflement du sol lorsqu'un mélange sol et eau se déplace vers un sol gelé, entraînant la formation de lentilles de glace. La combinaison migration et gel provoque la dilatation du sol, aussi longtemps qu'il contient de l'humidité et que le temps est froid. On prête généralement plus d'importance au tassement qu'au gonflement du sol, qui pourtant peut gravement endommager les canalisations souterraines.

Il existe diverses techniques pour réduire les dégâts causés par le gonflement du sol. On peut poser les canalisations bien au-dessous de la couche active du sol, où se produit le cycle de gel-dégel. Si les canalisations sont installées dans la couche active du sol, on peut remplacer la couche active autour des canalisations par un matériau non gélif. Ces méthodes permettent de minimiser mais non d'empêcher les déplacements préjudiciables à la canalisation.

La plupart des canalisations à Yellowknife sont enfouies à une profondeur de 2,8 m, dans certains cas pourtant, elles sont posées en surface ou près de la surface. (Ces canalisations, qu'on appelle canalisations de surface, sont parfois enfouies à 1 m de profondeur.) Les tuyaux en fonte ductile sont isolés, posés sur une surface uniforme et joints par des attaches ou des colliers. On les recouvre ensuite d'un mètre de sol organique meuble.

Cette méthode de construction peut être utilisée dans les zones immédiatement adjacentes à des affleurements rocheux, ce qui permet alors d'aménager plus librement les zones non rocheuses. On peut aussi l'employer pour minimiser les dégâts causés par le tassement dû au dégel lorsque les canalisations sont installées dans des zones de pergélisol riche en glace. Il faut parfois dynamiter la roche pour construire un appui rocheux au flanc des élévations de terrain. Là où les canalisations suivent de près les affleurements rocheux, on peut ancrer des câbles dans la roche pour empêcher une réaction à la poussée. Dans les endroits où on prévoit un tassement, on peut poser des marqueurs verticaux longs d'un mètre, à chaque raccord, pour déceler rapidement l'affaissement : si le sommet d'un de ces marqueurs sort de l'alignement vertical, on sait qu'il existe un problème à cet endroit. On utilise alors un sol tourbeux local comme couverture superficielle, il joue un rôle d'isolant et permet

la croissance rapide de hautes herbes qui freinent l'érosion et retiennent la neige en hiver, ajoutant ainsi à l'isolation. On n'utilise pas de semblables canalisations de surface lorsque des routes et la canalisation principale suivent le même tracé. Dans les zones où on prévoit un tassement très important, on utilise des demi-longueurs (3 m) de canalisations en fonte ductile pour accroître la souplesse du système.

On peut minimiser les problèmes de soulèvement et d'affaissement du sol en donnant une flexibilité maximale aux composantes physiques du système. Pour cela, on utilise des raccords "Victaulic" et "Robar" là où les canalisations pénètrent à l'intérieur des regards de service et autres structures. De plus, quand les prises d'eau sont branchées en direct, on les loge dans un conduit en métal ondulé de façon à permettre les mouvements horizontaux et verticaux. L'espace entre le corps de la borne et le conduit en métal est rempli de billes isolantes qui permettent le libre mouvement et protègent contre le gel.

**Protection contre le gel.** — Les mesures prises pour empêcher le gel de l'eau s'inscrivent aussi dans les deux catégories: actives et passives. Mesures actives: on peut, premièrement, chauffer l'eau avant de la pomper dans le système de distribution et, deuxièmement, s'assurer que l'eau circule continuellement. On prend soin d'éviter qu'il ne se forme des zones "stagnantes" et on dote le système de pompes auxiliaires, à moteur diesel pour les cas de panne de courant.

La pose d'isolant et de câbles chauffants, qui est généralement prévue en début de conception, fait partie des mesures passives de protection contre le gel. Le programme informatique HTLOSS permet de concevoir un système de protection relativement satisfaisant et d'estimer le temps nécessaire au gel des canalisations quand l'eau cesse de circuler. On peut alors équiper de câbles chauffants et isoler les canalisations sujettes au gel rapide.

**Généralités.** — Le réseau à deux canalisations de la nouvelle ville consiste en une canalisation d'alimentation et une canalisation de retour, posées côte à côte dans une tranchée commune avec la conduite d'égout. Le réseau d'eau est fait de courtes sections (1,83 m) de canalisation d'eau, en fonte, à joint universel. Le réseau d'égout est fait de sections de tôle ondulée, galvanisée et passée dans un bain d'asphalte (la section inférieure de la conduite étant passée dans un bain supplémentaire d'asphalte pour être plus lisse).

Les canalisations d'eau et d'égout doivent être séparées par une distance de 1,22 m à 1,83 m au plan horizontal, et par une distance de 610 mm au plan vertical, quand elles sont installées dans une tranchée commune. Les conduites d'eau occupent la position supérieure mais suivent les mêmes pentes que les conduites d'égout, de manière à pouvoir être vidangées par gravité à la station de pompage du lac, en cas d'arrêt prolongé du système.

Il doit exister une différence de pression entre la canalisation d'alimentation et la canalisation de retour, afin de maintenir une circulation continue de l'eau lorsque la demande est faible ou nulle. Pour cela, on a installé des plaques à orifice à l'intérieur des deux conduites de branchement en cuivre ( $\phi$  12 mm) dans chaque habitation, et on a fait de même à l'interconnexion de 12 mm entre les canalisations d'alimentation et de retour à chaque borne d'incendie.

Ces plaques ont au centre un petit orifice d'un diamètre de 3 à 5 mm, ce qui permet de maintenir un débit proportionnel à la différence de pression existant entre les canalisations d'alimentation et de retour. En 1972 et 1973, certains branchements d'abonné ayant gelé, on a enlevé les plaques pour les examiner. Nombre d'entre elles étaient en cuivre: l'orifice central s'était agrandi sous l'action de l'eau, ce qui avait provoqué une chute de la pression différentielle entre l'alimentation et le retour, d'où le gel et l'arrêt de l'écoulement. Depuis cette époque, on utilise des plaques en acier inoxydable avec de petits orifices, ce qui a permis de réduire le gel dans les canalisations.

Dans les nouvelles zones, chaque branchement d'abonné est chauffé par un câble chauffant alimenté en électricité par la maison desservie.

À Yellowknife, l'expérience a montré qu'en raison de la glace, de la neige et du gel qui gênent alors leur fonctionnement, pendant une bonne partie de l'année, il n'est pas recommandé d'utiliser des vannes conçues pour être enfouies sous terre. Par conséquent, toute la robinetterie est maintenant groupée dans un compartiment spécial. À l'origine, ces compartiments de service étaient fabriqués en béton; de nos jours, ils sont constitués de deux épaisseurs de tuyau en métal ondulé, posées sur un support en béton, avec un isolant en mousse entre les deux épaisseurs.

## SYSTÈME DE COMMANDE

Réparer les dégâts causés par le gel est extrêmement coûteux à Yellowknife et c'est pourquoi chacun des sous-systèmes du réseau de distribution d'eau a son propre système de surveillance et de commande. On a choisi les systèmes les plus perfectionnés qui existaient sur le marché à l'époque de la conception du réseau. Comme le temps qui s'écoule entre la conception et l'installation est généralement très long, on peut effectivement installer l'équipement le plus moderne.

Tous les systèmes ont été conçus en fonction de certaines conditions qui prévalent dans presque toutes les localités du Nord: pannes et variations de courant, éloignement des sources d'approvisionnement et de services.

Chaque nouveau système de surveillance et de commande installé a marqué un progrès par rapport au précédent, à la fois parce qu'on avait plus d'expérience concernant la situation dans le Nord et parce que la technologie de l'électronique avait évolué. C'est pour cette raison que le réseau est, dans son ensemble, beaucoup plus souple et fiable que prévu à l'origine. Le système choisi pour le nouveau bâtiment des pompes et le réservoir n° 4 en donne un exemple: cet ensemble ne sera pas commandé par un système de type à relais (souvent utilisé autrefois) mais par une commande programmée — ce qui lui donnera une souplesse et une sûreté dont la possibilité n'aurait pas été envisagée il y a 10 ans, quand on a construit la station de pompage n° 1.

Les variations de voltage posent des difficultés majeures pour la conception et la construction de tout système de commande. Le système de la station de pompage n° 4 n'échappera sans doute pas au problème, étant donné que de telles variations surviennent fréquemment à Yellowknife. Les courtes "pointes" de tension (un ou deux cycles), qui se produisent lorsqu'on rétablit le courant après une interruption ou pendant les périodes de basse tension, sont parmi les problèmes les plus importants.

Jusqu'à présent, la majorité des systèmes étant simplement à relais, les problèmes de tension n'étaient jamais insurmontables. Avec l'avènement des dispositifs électroniques complexes de surveillance et de commande, il a fallu trouver une solution pour assurer une alimentation en électricité uniforme et fiable. Après avoir étudié et essayé divers systèmes à batterie, on a conclu qu'il faudrait utiliser un ensemble redresseur, batterie et inverseur.

La batterie, chargée par un redresseur, alimente les instruments de commande, les relais, les ampoules et l'inverseur. À son tour, l'inverseur sert de source de courant de 110 volts pour les instruments de commande, l'équipement de surveillance et tout autre équipement de 110 volts. Un système de ce type a été conçu et installé à la station de pompage n° 3 en 1977; depuis, la plupart des problèmes de commande jusqu'alors causés par des pannes de courant ou des variations de tension ont été éliminés.

On estime qu'une alimentation par batterie permet d'éliminer au moins 75 p. cent des problèmes de commande des systèmes de surveillance à relais. On peut donc récupérer l'investissement initial en une ou deux années.

La ville de Yellowknife se trouvant éloignée des grands centres, la fiabilité du système était un facteur essentiel. Pour faciliter l'entretien, tous les voyants lumineux ont été installés sur des panneaux à affichage sur graphique plutôt que sur des panneaux signalétiques.

Avec un système du type à relais comme celui de la station de pompage n° 3, on a découvert que la moindre modification exige des travaux de câblage et, par la suite, de vérification — ce qui prend du temps. C'est pour cette raison, et parce qu'un système du type à relais a des capacités limitées, qu'on a décidé d'utiliser une commande programmée pour la station de pompage n° 4. Ce type de dispositif est rentable depuis quelques années et les délais de livraison sont beaucoup moins longs que de par le passé.

La commande programmée comprend une unité centrale de traitement, une source d'alimentation électrique et des modules entrée-sortie qui peuvent être soit discrets, soit analogues. Généralement, le système est programmé au moyen d'un tube à rayons cathodiques et d'un clavier. On peut aussi installer, en sus, un chargeur de bande, une liaison téléphone et une liaison ordinateur. Cette dernière permet d'obtenir un système de surveillance beaucoup plus complexe. Il suffit alors de changer le programme pour modifier la séquence et la nature des opérations du système.

On prévoit remplacer les systèmes existants du type à relais par des systèmes de commandes programmées, au fur et à mesure que s'étend le réseau de distribution et qu'augmente la capacité des "vieilles" stations de pompage. Ultiment, tous les dispositifs de commande des sous-systèmes d'eau et d'égout seront raccordés au système de commande de la station n° 1, qui surveillera les débit, température, pression et l'état de l'équipement. Petit à petit, on pourra donc réduire le travail d'exploitation et d'entretien du personnel qui doit maintenant se rendre sur les lieux pour surveiller les points clés du réseau.

## CONCLUSION

L'évolution du réseau d'alimentation en eau à Yellowknife constitue une expérience précieuse pour la conception et la construction des canalisations souterraines dans les régions du Nord, où prédominent les sols rocheux ou le pergélisol. En voici un exemple: on a constaté que l'apport de chaleur nécessaire pour chaque litre d'eau d'une section donnée de canalisations a considérablement diminué au fil des années: le transfert de chaleur des canalisations fait fondre le sol environnant, créant une couche supplémentaire d'isolant autour des conduites.

Quand la ville cesse de chauffer l'eau au début du printemps, chaque année, l'eau est généralement plus chaude à son retour à la station de pompage qu'au départ, apparemment parce que la chaleur accumulée dans le sol pendant l'hiver est transférée aux canalisations.

L'extrême sensibilité du pergélisol à la chaleur est clairement démontrée par l'exemple suivant: quand on revêt d'une nouvelle couche d'asphalte une route qui a été pavée il y a plus de dix années, la chaleur solaire captée par l'asphalte suffit à accélérer de façon marquée le tassement du sol.

Mettre en place un réseau de distribution unifié et complet à Yellowknife, alors que l'essor de la ville se poursuit, est une tâche difficile mais fort intéressante, et qui est loin d'être achevée. Il est clair cependant que, du point de vue des réseaux publics d'eau et d'égout, les fondateurs de la ville ont fait preuve d'une grande clairvoyance quand ils ont décidé de relocaliser le centre, en 1947. De nos jours encore, à cause des caractéristiques du terrain et du sol, la vieille ville est uniquement desservie par une petite canalisation "estivale" posée en surface; le reste de l'année, les habitants doivent recourir à des systèmes de transport par véhicule pour la distribution de l'eau et la collecte des eaux usées. Dans certains cas, le ramassage des sacs et des seaux hygiéniques se pratique encore.

L'optimisme qu'ont montré les fondateurs quant à l'essor de la ville était justifié: trente ans plus tard, la chaudière d'origine assure encore le chauffage primaire de l'eau à Yellowknife.

Reid, Crowther and Partners Limited travaillent de concert avec la ville de Yellowknife depuis 1958 pour mettre en place, aussi économiquement et efficacement que possible, un réseau dont toutes les composantes forment un ensemble souple et fiable. Le développement du concept final comporte l'utilisation d'installations existantes, l'adjonction et la modification de composantes ainsi que le choix d'une technologie de pointe pour répondre à la demande croissante de la ville.

Le système n'est pas encore parfait, mais les choses ont bien changé depuis "Blunderville".

## HUITIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### LE DÉVELOPPEMENT URBAIN SUR UNE GRANDE ÉCHELLE DANS LES RÉGIONS SUBARCTIQUES ÉLOIGNÉES

W.A. Robertson et R.L. Schreder  
R&M Consultants, Inc.  
Anchorage (Alaska)

Depuis quelques années, l'État de l'Alaska se heurte à un problème que connaissent la plupart des régions de croissance démographique à mesure que la population augmente, on note une hausse de la demande de terrains convenant à la construction de zones résidentielles et récréatives. De par le passé, des permis d'utilisation de terres appartenant au gouvernement fédéral servaient en grande partie de solution à ce problème. Mais en vertu du statut D2 du gouvernement fédéral, il n'est pratiquement plus possible de transférer des terres fédérales au secteur privé. Outre le gouvernement fédéral, il existe deux grands propriétaires en Alaska : les corporations autochtones et l'État de l'Alaska. La mise en valeur et l'acquisition des terres autochtones étant limitées par diverses dispositions, les seuls terrains que puisse obtenir le secteur privé sont actuellement sous le contrôle de l'État qui, longtemps soucieux de conserver ses terres, n'a autorisé pratiquement aucun transfert.

Le transfert des terres a été l'un des débats clés lors des élections générales de 1978. Sur le bulletin de vote figurait une question référendaire demandant à l'État de céder plusieurs millions d'acres de terrain, dans le cadre d'un programme similaire à l'ancien système de concession fédérale. Le référendum a reçu l'approbation de la majorité des votants, mais son statut actuel reste incertain car l'État a porté l'affaire devant la Cour suprême de l'Alaska pour déterminer si le programme était constitutionnel ou non. Le résultat premier du référendum a cependant été d'informer le gouvernement que les habitants de l'Alaska revendiquaient une partie des terres appartenant à l'État pour des constructions résidentielles et récréatives permanentes. En réponse, l'État de l'Alaska a attribué sous mandat 20 235 ha (50 000 acres) au secteur privé, le transfert a eu lieu le 1<sup>er</sup> juin 1979. Deux programmes de cession des terres ont alors été mis sur pied : Homesite Plan (lots résidentiels) et Open to Entry Plan (lots à utilisation non désignée).

Aux termes de ces programmes, l'État de l'Alaska s'engageait à sélectionner certaines régions jugées accessibles et convenant au développement de zones d'habitation et de loisir, ainsi qu'à effectuer les levés cadastraux nécessaires pour transférer légalement ces terres au secteur privé. Les lotissements seraient désignés de façon à respecter tous les règlements existants édictés par les autorités locales ou l'État. Ainsi, dans les zones densément peuplées, comme aux environs d'Anchorage, les propriétaires des lotissements cédés par l'État devraient respecter les règlements locaux de zonage et de planification concernant la construction des routes, des réseaux de services publics et des sites de décharge. Dans les régions éloignées des grands centres, la mise en valeur des lotissements respecterait les règlements sur l'aménagement des réseaux d'eau et d'égout du Department of Environmental Conservation de l'Alaska.

#### PROJET

Pendant l'été de 1978, l'État de l'Alaska a sélectionné plusieurs régions qui ont été désignées comme prioritaires en raison d'un essor démographique, du manque de zones de loisir, ou de l'absence d'autres sources de terrains. Glennallen en est un exemple. Cette petite localité est située à environ 290 km au nord-est d'Anchorage, au croisement des routes Glenn et Richardson. La région est depuis longtemps en expansion, mais sa croissance a été freinée car les terres privées sont peu nombreuses et situées uniquement le long des routes. La pénurie de terrains étant sérieuse, l'État de l'Alaska a décrété que 1 862 ha (4 600 acres) de terres lui appartenant (voir carte n° 1, figure 3) seraient mises en vente.

L'État de l'Alaska, par l'intermédiaire de l'Alaska Division of Lands, ADL, a sélectionné les parcelles où seraient effectués des levés de terrain. Cependant, tout lotissement devait répondre aux normes du Département of Environmental Conservation relatifs aux systèmes d'eau et d'égout avant d'être mis en valeur et acquis par le secteur privé. En général, il est très difficile d'obtenir de l'eau dans la région de Glennallen, mais la localité a mis au point un système de transport de l'eau à partir de puits centraux, qui donne satisfaction depuis plusieurs

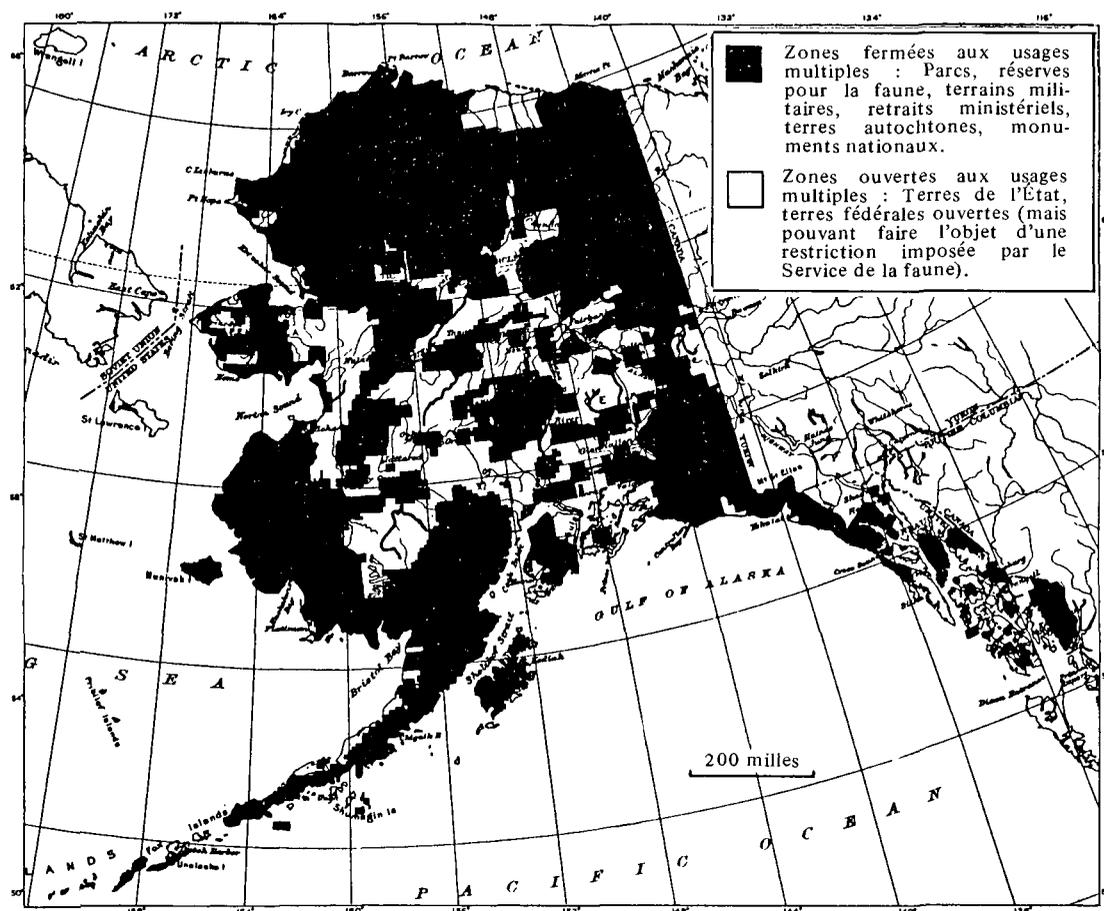


Figure 1 Le black-out de 1979

années. Le problème majeur était donc celui de l'aménagement d'un service d'égout, dans une région de pergélisol. La localité n'était pas dotée d'un tel service; vu l'attitude générale des résidents et la vocation récréationnelle d'une bonne partie de la région, on n'envisageait pas de construire un système centralisé. La politique fondamentale de l'Alaska Division of Lands pour les localités éloignées étant que chaque propriétaire est personnellement responsable des installations d'eau et d'égout sur son terrain, il restait à démontrer à l'Alaska Department of Environmental Conservation (ADEC) qu'un système de fosses septiques pouvait fonctionner à grande échelle dans la région.

Les principaux critères qui régissent le développement d'une zone du genre sont les dispositions énoncées dans les règlements d'État (établis par l'ADEC) qui interdisent l'installation de systèmes de fosses septiques et champs d'infiltration dans les endroits suivants: 1) les sols gelés en permanence; 2) à une distance de moins de quatre mètres de la nappe phréatique; 3) à une distance de moins de 6 pieds d'une couche imperméable; 4) les sols ayant un taux d'absorption insuffisant. Suite à une étude préliminaire des données sur la région, on a conclu que Glennallen se trouvait dans une zone de pergélisol discontinu. De précédents travaux avaient permis d'établir que les sols non gelés se rencontraient presque uniquement sur les versants sud et dans les plaines d'inondation actives. On considérait que les terrains plats entre les vallées aux sols tourbeux et marécageux étaient généralement des terrains à pergélisol (Ferrians et Nichols, 1965). Il était donc clair que si l'on s'en tenait aux connaissances générales sur la région, on trouverait peu de terres qui conviennent au programme.



Figure 2 Site du projet (Glennallen)

Le problème initial était de compléter l'information pour déterminer quels terrains pouvaient rencontrer les exigences minimales de l'ADEC. Normalement, on aurait commencé par faire une étude géotechnique sérieuse et on aurait échantillonné les sols de la région, étudié la profondeur et l'épaisseur du pergélisol, et déterminé si le taux d'absorption du sol était suffisant pour permettre l'aménagement de fosses septiques dans les régions dégelées. Les travaux sur le terrain auraient duré environ 90 jours; ils auraient exigé le forage de 250 à 300 trous d'essai. Par mesure d'économie de temps et d'argent, R&M Consultants, Inc., a suggéré à l'Alaska Division of Lands une solution moins coûteuse que les méthodes géotechniques conventionnelles, qui accélérerait le transfert des terres.

Cette méthode, connue sous le nom d'analyse des unités de terrain, consiste à identifier les formes du relief par l'interprétation de photographies aériennes, puis à définir les variations de conditions géotechniques à l'intérieur de chaque forme du relief grâce à des observations et des essais de forage sur les lieux. Cette méthode, que R&M Consultants, Inc., a suivie avec succès pour le projet Trans-Alaska Pipeline, a fait l'objet d'une étude technique, *Preconstruction Terrain Evaluation for the Trans-Alaska Pipeline Project*, par Raymond A. Kreig et Richard D. Reger. En voici un extrait (traduit):

L'analyse des terrains par l'étude des formes du relief s'appuie sur les prémisses suivantes: 1) c'est une méthode sûre pour classer et mettre en corrélation les essais de forage et les propriétés du sol, car chaque forme du relief représente soit un processus géologique unique, soit une combinaison de processus qui sont couramment associés; 2) chaque forme du relief a donc une gamme caractéristique de propriétés du sol – type de sol, densité sèche, humidité du sol et tassement dû au dégel, par exemple (Belcher, 1946, 1948). Chaque observation à des fins de vérification sur un lieu donné a permis non seulement de recueillir des renseignements mais aussi de déterminer, au moyen de l'ensemble des observations, des schémas de variation au sein d'une forme du relief. Une fois connues les variations de propriétés au sein de chaque forme du relief, on a conçu chaque segment du tracé des routes en identifiant les formes de terrain par un examen stéréoscopique des photos aériennes et par quelques essais de forage à des fins de vérification, à des endroits précis. Cette méthode a permis un usage rationnel des fonds alloués à la prospection.

Cette façon de procéder, qui avait été utilisée avec succès pour le projet du pipeline de l'Alaska, a été reprise pour le projet de Glennallen. On peut généralement se procurer les photographies pertinentes auprès d'organismes fédéraux comme la U.S. Geological Survey, le Bureau of Land Management, le Forest Service et l'Alaska Federal State Land Use Commission. À partir de telles photographies prises à haute altitude, on a établi une carte préliminaire en appliquant la méthode des analyses d'unités de terrain. On a alors découvert que certaines parcelles étaient situées dans une région pour laquelle existait une carte géologique établie à des fins technologiques par Oscar Ferrians Jr., de la U.S. Geological Survey (Ferrians 1971). Cette carte a permis de vérifier l'exactitude de l'analyse des photographies aériennes et fourni des unités cartographiques de base qui ont été adoptées après quelques modifications.

Une fois la carte préliminaire des unités de terrain terminée, on a tenu des réunions avec l'Alaska Division of Lands et l'Alaska Department of Environmental Conservation pour discuter des résultats. La première a conclu qu'un pourcentage assez élevé des parcelles se prêtait à une forme de développement ou une autre, aux termes des règlements existants du Department of Environmental Conservation. Elle a donc autorisé le passage à la deuxième étape des travaux géotechniques.

Il a fallu ensuite obtenir des photographies aériennes de haute qualité à une échelle de 1 cm = 120 m pour établir une cartographie photogrammétrique des parcelles et obtenir des unités de terrain plus détaillées. En conjonction avec ce travail, on a entrepris des recherches sur les lieux pour appuyer les données de la carte préliminaire et pour répondre à certaines questions soulevées à la suite des travaux de cartographie. On a étudié divers sujets, dont le tracé des routes et les excavations, et on a déterminé le type de sol et les conditions thermiques de certains lieux à l'aide d'une tarière à main. Les lieux d'étude avaient été choisis de façon à obtenir des données sur de grandes zones de terrain, délimitées à partir de la texture des clichés aériens. On a fait des essais dans au moins deux emplacements de chaque unité principale de terrain. L'étude sur place a été effectuée en trois jours par une équipe de deux hommes.

On a modifié la carte des unités de terrain à la lumière des renseignements obtenus. Elle était alors aussi précise que possible, compte tenu des données dont on disposait. Ensuite, on s'est servi de cette carte et des renseignements recueillis pour déterminer quelles parcelles se prétaient à un développement.

À l'époque de l'examen préliminaire sur le terrain et de la révision de la carte, on a tenu des réunions avec l'Alaska Division of Lands et l'Alaska Department of Environmental Conservation, afin de déterminer quelles données physiques il faudrait recueillir sur les lieux, pour convaincre l'ADEC que les terres ne seraient pas per-

turbées par la présence d'installations sanitaires. À la suite de ces réunions, on a conclu qu'un programme de forage de 15 jours suffirait à fournir les renseignements nécessaires pour relier les formes du relief et les traits distinctifs des régions.

Une installation de forage Nodwell avec une tarière à aubes d'un diamètre de 15 cm a été utilisée pour percer au total 51 trous de sonde; des échantillons de sol ont été prélevés et 28 essais ont été effectués pour déterminer les taux de percolation du sol. Ces essais ont été faits conformément aux méthodes recommandées dans le *Manual of Septic Tank Practice* (Public Health Service Publication n° 526, U.S. Government Printing Office), utilisé par la municipalité d'Anchorage. On a ainsi analysé tous les grands types de sols gelés et non gelés (à l'exception des sols organiques). Au total, 20 échantillons de sol ont été soumis au laboratoire d'Anchorage pour qu'il fasse une analyse granulométrique et pour qu'il détermine, dans certains cas, les limites d'Atterburg. Les résultats du laboratoire ont été combinés aux observations sur le terrain et aux résultats des tests de percolation, pour obtenir une estimation du taux de percolation des divers types de sols. La carte n° 1 (figure 3) indique l'emplacement des forages et des observations sur place.

On a révisé une dernière fois la carte à l'aide des dernières informations recueillies sur le terrain. Puis on a fait une analyse détaillée pour déterminer quelle section des parcelles se prêtait à l'aménagement d'une fosse septique, et pour décider quelle densité maximale (dimension minimale des parcelles) il faudrait recommander – la dimension minimale de chaque parcelle ou portion de parcelle dépendant de l'uniformité des sols, des conditions thermiques du lieu et des taux de percolation. On a identifié trois cas distincts, essentiellement en fonction de la profondeur du pergélisol.

#### CAS N° 1

- a) Les forages n'indiquent pas la présence de pergélisol (profondeur des trous de sondage généralement supérieure à 3,7 m). Les sols, uniformément faits de sable ou de gravier, ont des taux de percolation élevés. Grandeur minimale recommandée pour chaque lot : 0,405 ha.
- b) Les forages n'indiquent pas la présence de pergélisol (profondeur des trous de sondage généralement supérieure à 3,7 m). Les sols ont des taux de percolation plus faibles que ci-dessus. Grandeur minimale recommandée pour chaque lot : 1,01 à 2,02 ha.

#### CAS N° 2

- a) Le pergélisol se trouve à une profondeur de 2,4 à 3,7 m. Les sols ont généralement des taux de percolation inférieurs à ceux du cas n° 1. Grandeur minimale recommandée pour chaque lot : 1,01 à 2,02 ha.
- b) Le pergélisol se trouve à une profondeur de 2,4 à 3,7 m. Les sols ont des taux de percolation inférieurs à ceux du cas n° 2 a. Grandeur minimale recommandée pour chaque lot : 4,05 à 8,09 ha.

#### CAS N° 3

- a) Le pergélisol se trouve à moins de 2,4 m de profondeur. Les tests de percolation indiquent que ces sols gelés, à faible teneur en humidité, laisseraient s'infiltrer les effluents des fosses septiques. Ces zones ne satisfont généralement pas aux normes AAC 72,020(h). Grandeur minimale recommandée pour chaque lot : 4,05 à 8,09 hectares.
- b) Le pergélisol se trouve à moins de 2,4 m de profondeur. Les taux de percolation sont extrêmement bas ou négligeables. On ne recommande pas d'aménager ces zones.
- c) On a également recommandé de ne pas aménager les zones où la nappe phréatique est en surface ou peu profonde.

En dépit de la croyance populaire, qui voulait que les sols de Glennallen soient gelés, R & M Consultants ont découvert que les plaines d'inondation et les terrains en terrasse du bord de Moose Creek et de la Tazlina River n'étaient généralement pas gelés à plus de 3,7 m de profondeur. Ces terres ont été déclarées propres au développement, sous réserve qu'elles satisfassent aux règlements existants de l'ADEC.

Aux termes de ces règlements, le cas de certaines terres était douteux (cas n° 2, sols non gelés jusqu'à une profondeur variant entre 2,4 m et 3,7 m). Dans ce cas, il faudrait installer les fosses septiques et champs d'absorption dans le sol non gelé au-dessus du pergélisol, de façon à respecter les règlements. Dans d'autres formes du relief (particulièrement, le cas n° 3) le pergélisol, qui se trouve à moins de 2,4 m de profondeur, est fréquemment composé de sable ou de limon graveleux avec une humidité minime et une porosité élevée, ce qui permet l'absorption des effluents à des taux relativement élevés. Une dispense pour l'installation de fosses septiques permettrait d'utiliser plusieurs centaines d'acres de terres, dont la mise en valeur est actuellement interdite par le Department of Environmental Conservation.

Qu'ils soient gelés ou non, les sols se prêtant à l'aménagement de fosses septiques se trouvaient principalement dans les terrasses alluviales (Qt) et les dépôts lacustres (Q1c<sub>2</sub>). Les parcelles Q1c<sub>2</sub> d'une superficie de moins de 4,05 ha ne se prêtaient généralement pas à une mise en valeur. La figure 4 donne un exemple (parcelle n° 1) des résultats de la cartographie des unités de terrain et des travaux connexes.

Cette parcelle n° 1 comprend une partie des sections 28, 29 et 30, T4N, R2W, CRM. Elle se trouve au sud de la route Glenn, entre 4,8 et 9,6 km à l'ouest de l'intersection des routes Glenn et Richardson. Les résultats des études sur le terrain (18 sondages, 9 forages et 6 essais de percolation) ont révélé une situation complexe. Les sols sont généralement d'origine lacustre et varient en composition, allant des limons sableux aux graviers limoneux. Des dépôts en surface de sable et de sable limoneux, d'une épaisseur de quelques pouces à 3,7 m (anciennes plages), forment des bandes linéaires étroites dans les sections 29 et 30. Une couche de sable et de gravier en terrasse (Qt), dont l'épaisseur atteint 2,7 m, chevauche l'extrémité ouest de la section 30. Les sols sont en général gelés et ont de faibles teneurs en humidité. Une épaisseur considérable du sol (1,2 à 3,7 m) n'était pas gelée dans seulement quatre des neuf trous de sondage; dans deux de ces quatre trous, on a découvert de l'eau souterraine à de faibles profondeurs (0,61 m et 1,2 m). Un des six essais de percolation a été effectué dans les sables et graviers de l'extrémité ouest de la section 30, qui sont dégelés jusqu'à une profondeur de 2,13 m. On y a enregistré un taux de percolation de 0,39 mn/cm. Un second essai a été fait dans les limons sableux qui sont dégelés jusqu'à une profondeur de 2,13 m; les quatre autres ont été faits dans les sols gelés. Deux de ces essais ont indiqué un taux de percolation inférieur à 23,6 mn/cm; les trois autres, des taux de percolation allant de 3,9 mn/cm à 13,5 mn/cm.

D'après les résultats des études sur la parcelle n° 1 et les terrains avoisinants, on a conclu que des systèmes de fosses septiques donneraient satisfaction dans les zones les plus hautes de la parcelle, où l'écoulement des eaux est assuré de façon plus efficace, même si les sols étaient gelés pour la plupart. Ces zones plus élevées et mieux asséchées (Q1c<sub>2</sub> surtout) formant des "îlots" de dimensions variées et de tracés complexes, on a recommandé des lots de 4,05 à 8,9 ha. Une région fait exception à cette recommandation : l'extrémité ouest de la partie SW 1/4 – section 30. Les dépôts en terrasse non gelés atteignant là une épaisseur de 2,9 m, on a conclu que des lots de 0,405 et 1,01 ha seraient acceptables. On a jugé que de vastes parties des sections 28 et 30 ne convenaient pas à l'aménagement de systèmes de fosses septiques; en raison d'un ruissellement insuffisant, l'eau reste en surface ou à une faible profondeur. La figure 4 indique les dimensions recommandées pour cette parcelle.

## RÉSUMÉ

Il est prouvé que la cartographie des unités de terrain présente des avantages considérables, en temps et en argent, par rapport aux techniques conventionnelles pour les projets de développement urbain à grande échelle dans les régions éloignées. Avec les méthodes habituelles, un projet comme celui de Glennallen (Alaska) aurait demandé environ trois mois et demi ou quatre mois de recherches intensives sur le terrain, et deux à trois mois d'analyses en bureau pour sélectionner et déterminer les zones se prêtant au développement. Grâce à la méthode des unités de terrain, on a pu faire un classement préliminaire des terres à Glennallen deux semaines seulement après avoir entrepris le projet, en septembre 1978. Dès le 9 octobre, une équipe de deux hommes avait commencé les premiers travaux sur le terrain pour vérifier les données. On a ensuite revu et corrigé la carte des unités de terrain pour mettre au point un plan détaillé de travail, de façon à optimiser les résultats obtenus et à minimiser le nombre de forages. Le 6 novembre, on avait effectué 51 essais de forage et 28 essais de percolation. À l'aide de ces renseignements et de la carte des unités de terrain, on a évalué les données en bureau. Et le 27 décembre 1978, on a soumis à l'Alaska Division of Lands le rapport final avec recommandations concernant les dimensions des parcelles à aménager.

Le 9 janvier 1979, on a tenu une réunion avec l'Alaska Department of Environmental Conservation pour discuter du rapport officiel sur le projet et pour déterminer si d'autres études étaient nécessaires. L'après-midi de ce même jour, l'Alaska Department of Environmental Conservation a donné son approbation préliminaire au plan de développement préparé à partir de la cartographie et des études sur les lieux faits par R & M Consultants. Le Department of Environmental Conservation a donné son approbation définitive le 27 février 1979 après avoir étudié la topographie aérienne faite à la même époque que les enquêtes sur le terrain. On prépare actuellement la cartographie finale des lotissements et on prévoit qu'environ 1/3 des 1 862 ha seront mis à la disposition du public en juin 1979, au plus tard. Ces premières parcelles, d'une superficie de 1,01 à 8,09 ha,

REMARQUES

1) Le terrain de type Qlc<sub>2</sub> se distingue du Qlc<sub>1</sub> par des peuplements d'arbres plus grands, plus denses ou plus robustes, ce qui indique un meilleur ruissellement superficiel ou souterrain. On peut attribuer cette situation à de légers dénivellements, à la dégradation du pergélisol par le feu ou le défrichage, à des variations du type de sol ou à toute combinaison de ces éléments.

2) Dans cette unité, la perméabilité du sol gelé peut varier entre modérée ou nulle, selon la granulométrie et la teneur en humidité du sol.

LÉGENDE

- ▲ Sonde ou registre de talus
- ⊕ Trou d'essai : aucun essai de percolation; aucune eau souterraine
- ⊖ Trou d'essai : aucun essai de percolation; nappe phréatique élevée
- ⊗ Trou d'essai : taux de percolation de moins de 60 mn/po
- ⊙ Trou d'essai : taux de percolation de 60 mn/po ou plus

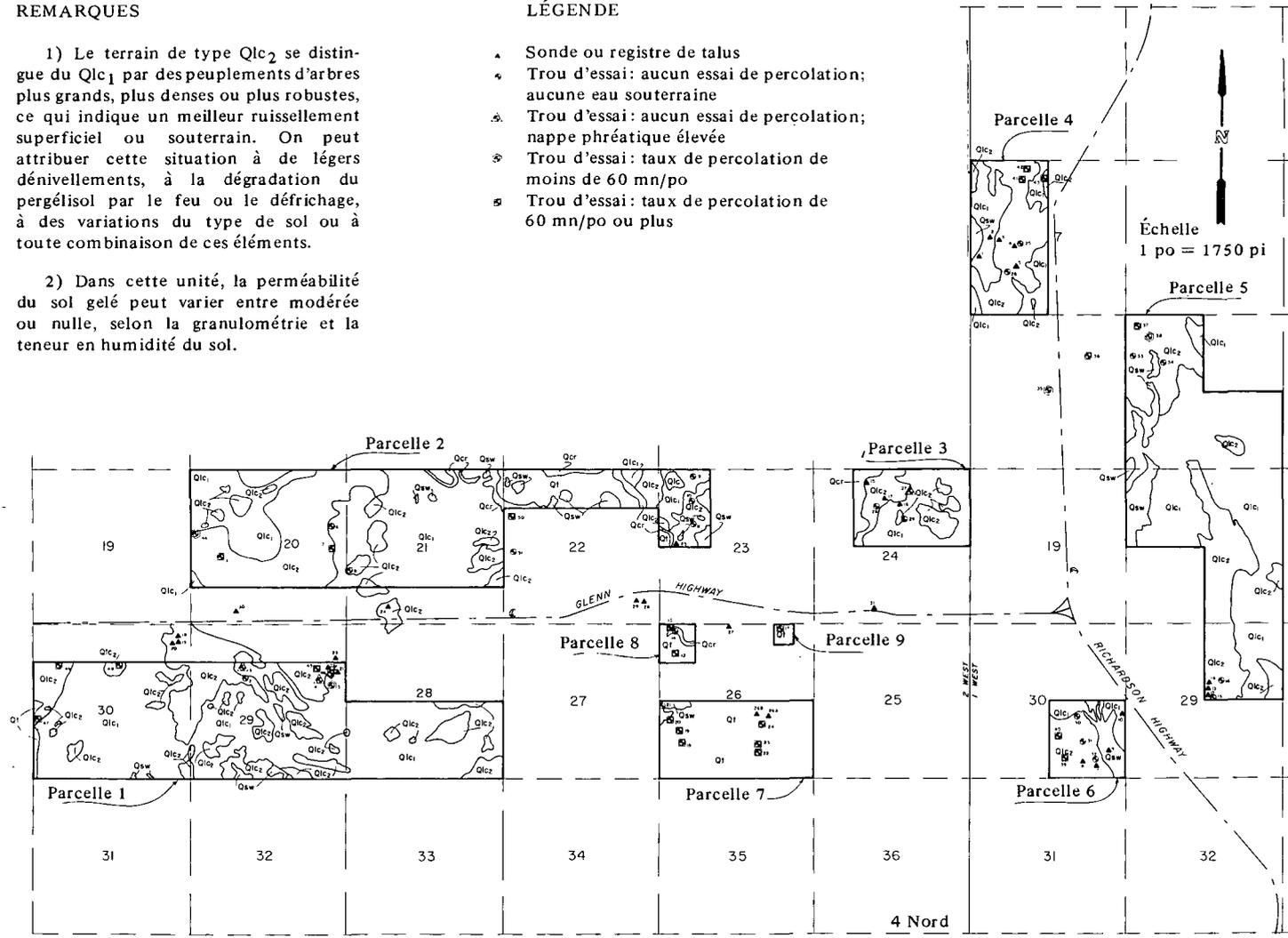


Figure 3 Carte d'unités de terrain

Caractéristiques générales des unités de terrain (tableau accompagnant la figure 3)

Unité de terrain		Description	Nappe phréatique	Topographie et végétation	Pergélisol	Potential d'effets dus au gel	Ruissellement		Potential de perméabilité	Type de sol uniforme	Potential d'érosion
Symbole	Désignation						Superficiel	Souterrain (sol dégagé)			
Qac	Plaine d'inondation active	Gravier grossier et sableux, sable avec traces de limon Gravier arrondi ou rond	Généralement peu profonde, selon l'état du ruisseau.	Courbes de niveau 1 et 10 pieds. Généralement sans couverture végétale	Probablement plus de 10 pieds de profondeur sur la majeure partie du terrain	Faible	Bon	Bon	Élevé	GW, GP, GM, SW, SP, SM	Élevé
Qcr	Colluvion du type falaise de rivière	Limon pierreux et sableux non classé ou mal classé; variation latérale de limon en sable, et de sable en gravier, ou en n'importe quel mélange de ces matières. Comprend de grosses masses localisées de sol limoneux et de matières organiques non consolidées.	Très variable en raison de la pente.	Falaises de rivière fortement à moyennement escarpées. Pentes instables généralement sans végétation; pentes stables couvertes d'herbes et de broussailles basses; pentes stables et moyennement escarpées couvertes de hautes broussailles, petites épinettes éparcées.	Généralement présent à 4 pieds au moins de la surface sur les pentes dominant au nord; beaucoup plus profond sur les pentes faisant face au sud, souvent absent lorsque la structure est granulaire. Peut avoir une grande teneur en glace.	Variable, mais généralement élevé	Bon	Généralement mauvais	Faible	ML, SM, GM	Élevé
Qwa	Dépôts marécageux	Tourbe fibreuse compacte avec lentilles et lits de limon, et sable fin riches en matières organiques.	Généralement peu profonde, posée sur le pergélisol	Zones plates et dépressions sur un terrain ondulé. Couverture végétale composée de tourbes et d'herbes de marais dans les parties très humides; broussailles basses parsemées de petites épinettes dans les parties plus sèches.	Généralement présent à 5 pieds ou moins de profondeur dans les parties humides et à 2 pieds ou moins dans les parties plus sèches. Généralement à forte teneur en glace.	Élevé	Mauvais	Mauvais	Faible	PT, OL	Généralement faible
Q1	Terrasses alluviales	Gravier grossier et sableux, sable avec traces de limon. Comprend de manière localisée, nombre de gros galets éparcés. Recouvre le plus souvent de 1 à 5 pieds de sable limoneux ou de limon sableux riche en matières organiques.	Généralement peu profonde, posée sur le pergélisol dans les zones de gel. Qualité et capacité probablement limitées dans les zones dégelées. Varie selon la profondeur du pergélisol.	Série de terrasses plates le long de Tazlina River et Mouse Creek. Séparée de la plaine d'inondation active par un talus de terrasses. Végétation généralement composée d'un peuplement dense d'arbres feuillus et résineux ou de hautes broussailles.	Généralement profond à l'exception de lentilles localisées de sable limoneux et pierreux. Surcharge limoneuse généralement gelée si elle a plus de 5 pieds d'épaisseur.	Généralement faible, sauf en ce qui concerne la surcharge	Bon	Bon, sauf en ce qui concerne la surcharge limoneuse épaisse	Élevé faible à modéré en cas de surcharge	GP, GM, SP, SM	Généralement faible, mais relativement élevé en cas de surcharge
Q1c1	Dépôts lacustres, présence probable de pergélisol peu profond	Prédominance d'un limon argileux ou sableux et pierreux, massif très lamelleux, avec lits et lentilles de sable, et gravier sableux. Cailloux, galets et localement, gros galets éparpillés. Zones localisées reposant sur un lit de sable.	Généralement peu profonde, posée sur le pergélisol. Varie selon la profondeur du pergélisol.	Étendues de terres basses plates ou légèrement en pente. Végétation composée d'épinettes denses à éparcées et de broussailles basses.	Généralement présent à 2 pieds ou moins de profondeur. Teneur en glace variable.	Élevé, sauf dans les dépôts localisés de sable propre	Généralement mauvais	Mauvais	Généralement faible, sauf dans les dépôts localisés de sable propre	ML-CL	Élevé
Q1c2	Dépôts lacustres, pergélisol plus profond possible	Prédominance d'un limon argileux ou sableux et pierreux, massif très lamelleux, avec lits et lentilles de sable et gravier sableux. Cailloux, galets et localement, gros galets éparpillés. Zones localisées reposant sur un lit de sable.	Généralement peu profonde, posée sur le pergélisol. Varie selon la profondeur du pergélisol.	Zones légèrement surélevées ou vieux brûlis sur des étendues de terres basses, plates ou légèrement en pente. Végétation composée d'un dense peuplement d'arbres résineux et feuillus ou de broussailles hautes.	Généralement présent à des profondeurs variables, mais allant jusqu'à 30 pieds dans les zones brûlées par des feux de forêt ou autrement perturbées. Teneur en glace variable. Petites zones isolées ressemblant généralement au Q1c1.	Élevé, sauf dans les dépôts localisés de sable propre	Généralement mauvais	Mauvais, sauf dans le sable	Généralement faible dans les sols argileux, modéré dans le limon sableux et pierreux, élevé dans les dépôts localisés de sable propre.	ML, ML-CL, CL, SM, GM	Élevé

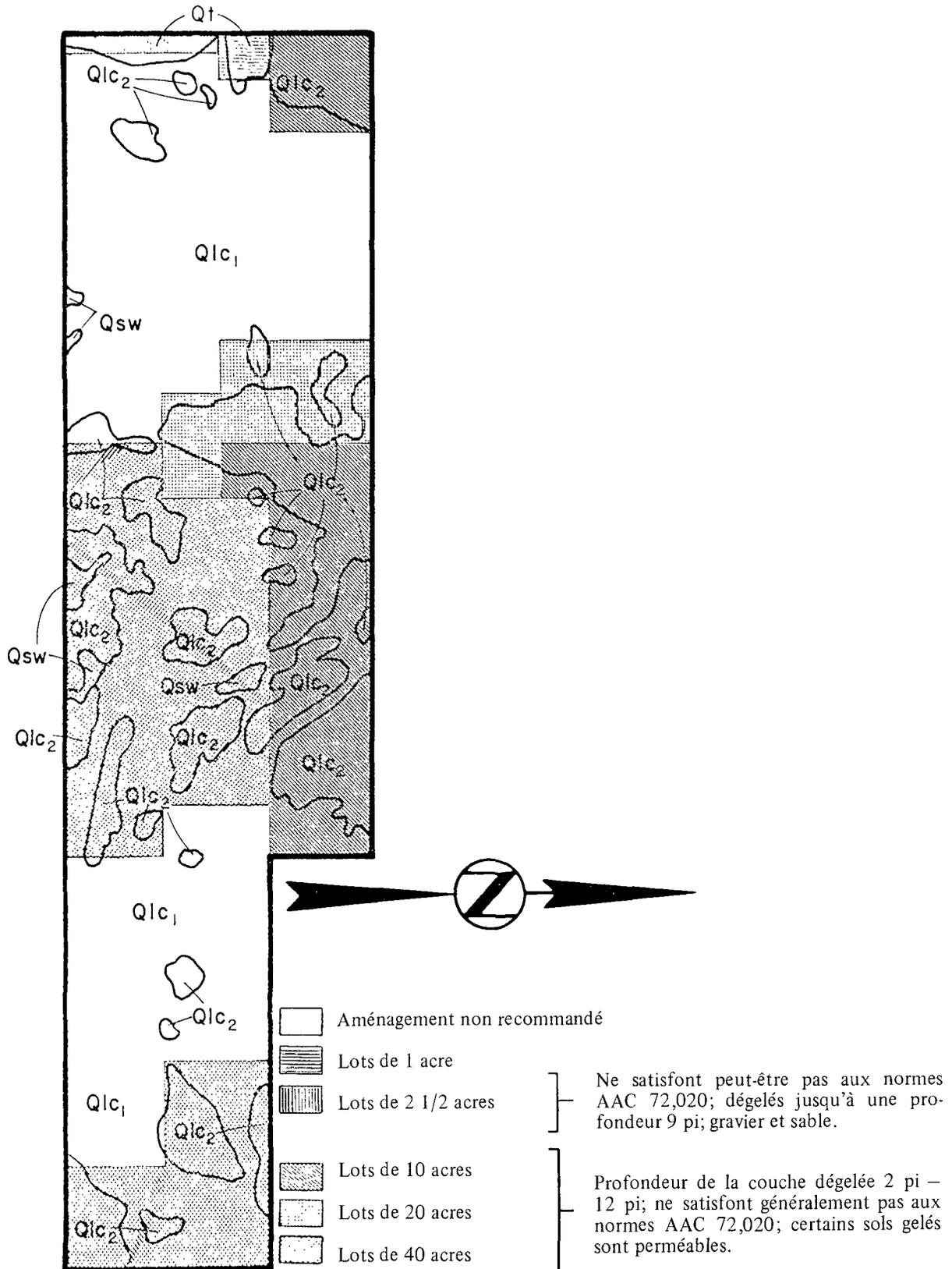


Figure 4 Parcelle n° 1, GSC 131 Glennallen

Notes  
Unités telles que les auteurs les ont exprimées  
1 acre = 0,4047 ha

seront classées comme "lots à utilisation non désignée". On prévoit que les deux autres tiers des 1 862 hectares seront cédés au secteur public fin 1979. Ces terres seront également divisées en deux parties égales : d'une part, des "lots résidentiels" de 0,405 et 1,01 ha; de l'autre, des "lots à utilisation non désignée" de 2,02 à 8,09 ha.

Sans une cartographie des unités de terrain, il n'aurait sans doute pas été possible de réaliser si rapidement et si économiquement un projet de cette échelle dans une région de pergélisol. Avec des techniques classiques, le transfert des terres n'aurait probablement pas eu lieu avant 1980. Avec cette méthode, le coût total de l'étude s'est chiffré à environ \$19.80 par hectare – soit le cinquième du coût qu'aurait demandé une technique traditionnelle. La cartographie des unités de terrain peut avoir un impact important sur les projets d'aménagement d'installations sanitaires dans les régions de l'Arctique.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- État de l'Alaska, Department of Environmental Conservation, Chapter 72, Wastewater Disposal, 18AAC 72.020. *Subsurface Wastewater Disposal Restrictions*, dossier 61, avril 1977.
- Belcher, D.J., Engineering Applications of Aerial Reconnaissance, *Geol. Soc. America Bull.*, 57, pp. 727-734, 1946.
- Anon., The Engineering Significance of Landforms, *Highway Res. Board Bull.* 13, p. 929, 1948.
- Ferrians, O.J. Jr. et D.R. Nichols, Resume of Quaternary Geology of the Copper River Basin, *Central and South Central Alaska – Guidebook for Field Conference E.*, VII<sup>e</sup> Congrès, Assoc. Int. pour la recherche quaternaire, Schultz, B.C. et H.T.V. Smith, éditeurs, pp. 93-114, 1965.
- Ferrians, O.J. Jr. Preliminary Engineering Geologic Maps of the Proposed Trans-Alaska Pipeline Route – Gulkana Quadrangle, *U.S. Geol. Survey Open – File Report*, carte avec feuillet d'explications, 1971.
- Krieg, R.A. et R.D. Reger, Preconstruction Terrain Evaluation for the Trans-Alaska Pipeline Project, *Geomorphology and Engineering*, Donald R. Coates, éditeur, pp. 55-75, 1976.

## HUITIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### ANALYSE DE PROTOTYPES D'ÉCOLES RURALES

Thomas W. Livingston  
Construction Systems Management Inc. (CSM)  
Anchorage (Alaska)  
Nels Kjeistad  
Crews, MacInnes et Hoffman (CMH)  
Anchorage (Alaska)

#### INTRODUCTION

L'Alaska doit créer un grand nombre d'écoles secondaires rurales au cours des prochaines années. Le Department of Transportation and Public Facilities (DOTPF) a reconnu la nécessité d'élaborer des conceptions appropriées à ces nouvelles écoles. En avril 1978, on a demandé à CSM d'entreprendre une étude intitulée : *Analyse de prototypes d'écoles rurales*. Nous avons réuni plusieurs fois un groupe de travail composé de représentants des districts scolaires, du DOTPF et du Department of Education (DOE). Le présent rapport s'appuie, tant sur les renseignements recueillis au cours de ces réunions et de visites à de nombreux villages, que sur notre expérience des écoles rurales.

Les écoles rurales des localités reculées de l'Alaska présentent un défi qui ne peut être relevé en faisant appel aux conceptions classiques ou à la technique actuelle. Concevoir une école rurale en Alaska et concevoir une école conventionnelle sont des tâches très différentes, à la fois en ce qui concerne les problèmes à résoudre et le produit fini. Une école secondaire de 23 élèves, avec deux enseignants, exige des techniques d'enseignement différentes de celles d'une école de 800 élèves et 30 enseignants. Deux professeurs qui doivent fournir un programme complet d'études secondaires à 23 étudiants ont à relever tout un défi, sur le plan éducatif comme sur le plan de la planification des locaux. Le concepteur de services publics<sup>1</sup> a lui aussi une tâche difficile. Il doit : 1) fournir au moins les services publics essentiels; 2) pallier une technique mal adaptée; 3) résoudre les problèmes de logistique en matière de construction, d'exploitation et d'entretien; 4) composer avec le climat rigoureux. Dans l'Arctique, des solutions plus ou moins complexes et propres à chaque village sont souvent inévitables.

Le présent rapport, qui vise à mettre au point une méthode de conception et à suggérer des solutions, ne représente qu'une partie du processus global d'aménagement d'une nouvelle école. Pour intégrer la conception au processus global, nous avons indiqué certains concepts et aides à la planification qui dépassent le cadre de la construction classique.

Le rapport compte trois volumes :

- I. — Données fondamentales et options possibles
- II. — Méthodologie
- III. — Données recueillies sur le terrain

Le volume I constitue la partie principale du rapport. Les données fondamentales représentent l'information qui doit être réunie avant d'aborder les étapes de conception et de planification comme telles. Les options portent sur les différents systèmes, composantes et concepts que le concepteur retient. Le volume II expose la méthode d'utilisation, dans un cas fictif, de l'information recueillie au volume I. Le volume III (dont il ne sera pas question ici), a été tiré à peu d'exemplaires et il servira à l'État de l'Alaska de recueil de données sur le terrain, permettant d'évaluer le rendement des installations existantes.

Volume I : Données fondamentales et options possibles

**Données fondamentales du programme de construction.** — La conception d'une école en Alaska ne se limite pas à l'étude d'un bâtiment ayant des salles de classe et une salle commune. Les raccordements de canalisations de branchement ne se font pas à 1,5 mètre de la façade de l'immeuble, comme en milieu urbain. De plus,

---

<sup>1</sup> Par "services publics", on entend dans le présent exposé la fourniture d'électricité, d'eau et d'égout.

ce qu'on appelle "école" est souvent, en réalité, un établissement communautaire autonome qui doit gérer son propre système de services publics, en plus d'assumer sa fonction première.

Les données qui président à l'élaboration du programme de construction ont pour objet de guider la collecte de l'information essentielle, dont les représentants du district scolaire, l'État ou l'architecte auront besoin pour déterminer l'ampleur du projet, assurer la coordination et prendre les décisions nécessaires avant d'aborder la phase conceptuelle. Sous bien des aspects, la conception d'une école de campagne s'apparente à la reconstitution d'un puzzle : reconnaître les données fondamentales revient à trouver les pièces qui doivent être rassemblées en un tout.

Les questions qui surgissent au départ sont les suivantes : À quel usage est destiné l'établissement? Quels en seront les usagers? Jusqu'à quel point servira-t-il la collectivité? Quelles sont les qualifications du personnel d'entretien? Qui construira l'établissement? Faut-il prévoir l'expansion des services (et quelles seront alors les priorités)? Quels bâtiments et services existants peut-on utiliser? L'établissement sera-t-il temporaire ou permanent? Quelles normes faut-il adopter dans les domaines suivants : sécurité incendie, primes d'assurance, protection contre le gel, production d'énergie d'appoint?

On précise les données fondamentales du programme de construction et en décrit brièvement l'importance de chacun pour la conception. Une liste de vérification non limitative est présentée au volume II pour permettre au district scolaire, à l'État ou à l'architecte de reconnaître les données fondamentales de leur propre projet de construction.

Les données fondamentales du programme de construction portent sur les points suivants :

• Utilisation des bâtiments	• Sécurité des bâtiments
Nombre d'élèves	Sécurité incendie
Personnel	Protection contre le gel
Méthodes pédagogiques	Protection contre l'inondation
Programmes scolaires	Protection contre le vandalisme
Intégration aux installations et aux programmes scolaires existants	• Sécurité des personnes
Place de l'école dans la collectivité	Sécurité incendie
Technologie d'entretien	• Budget
Future expansion	
Estimation de la vie utile des installations	
Conception d'installations spéciales pour les personnes handicapées	

**Données fondamentales de l'environnement.** -- Le deuxième groupe de facteurs qui importent pour la conception des écoles est celui des données du milieu. En général, elles influent surtout sur l'aspect extérieur de l'ouvrage : emplacement et forme d'un bâtiment, revêtement extérieur, composition des matériaux, type de fondations et méthodes de construction. De plus, elles influent sur les données fondamentales du programme de construction et sur celles du programme de services. Les données du milieu limitent les options relatives aux services comme la distribution d'eau et l'évacuation des eaux usées.

Les données du milieu qui ont un effet sur l'analyse des prototypes sont rassemblés sous trois titres : 1) climat; 2) géotechnique et hydrologie; 3) logistique. Sous la rubrique du climat, on étudie les conditions géotechniques de la région ouest de l'Alaska -- notamment les caractéristiques topographiques, la température, les précipitations et le vent. Dans la section "géotechnique et hydrologie", on traite des sols, du pergélisol, de la géologie, des inondations et de l'érosion, en expliquant comment ces facteurs influent sur les bâtiments et systèmes de distribution d'eau et de collecte des eaux usées.

La troisième section sur les données fondamentales du milieu traite des questions de logistique, qui sont une source de problèmes majeurs pour la construction et l'entretien des écoles dans les régions rurales de l'Alaska. Il faut parfois modifier un concept à cause de problèmes de transport des matériaux (par ex. gravier pour le béton) ou d'équipement (béliers et autres engins lourds). Avec une planification et un échancier étudiés, on peut éviter certains problèmes de construction et d'entretien. La section sur la logistique fait le point sur les sujets suivants : échancier; transport par avion, par bateau, par train ou camion; disponibilité et qualifications de la main-d'oeuvre locale; équipements locaux; communications.

L'étude des données fondamentales du milieu est complétée par diverses données : types de climat; températures maximales et minimales; degrés-jours de gel, de chauffe et de dégel; précipitations et vents; données géotechniques; données sur les transports dans l'ouest de l'Alaska. Ces données sont tirées de nombreuses publications, de sources gouvernementales et autres. Vu l'étendue de la zone étudiée et le nombre restreint de stations qui fournissent des rapports, les renseignements sur l'environnement ne peuvent être que très généraux. Lorsqu'on choisit un emplacement particulier pour un projet, on doit utiliser les renseignements disponibles sur l'environnement; mais il faut aussi exercer son jugement.

Les données fondamentales du milieu sont rassemblées sous les titres suivants :

1) Climat

Latitude et longitude, altitude

Température

Précipitations

Vents

2) Géotechnique et hydrologie

Géotechnique

Hydrologie

3) Logistique

Calendrier des travaux

**Données fondamentales relatives aux services publics.** — Le troisième groupe de facteurs qui régissent la construction d'écoles rurales traite des données relatives aux services publics. On entend par là les services qui assurent en permanence un milieu habitable pour l'homme : distribution d'eau et collecte des eaux usées; approvisionnement en combustible; production d'électricité. L'éventail des services offerts aux localités comprises dans la zone d'étude est vaste, et peut aller de services communautaires complets à une absence totale de services.

Les données fondamentales correspondent aux conditions qui existent dans les villages où de nouvelles écoles secondaires seront aménagées. Dans certains cas, un système déjà en place peut fournir les services nécessaires et il suffit alors de raccorder au réseau de nouvelles canalisations de branchement. Dans la plupart des endroits cependant, il faudra aménager l'ensemble des services pour la nouvelle école. Cela peut exiger la construction d'un nouveau puits, d'un système de collecte des eaux d'égout, d'un système d'approvisionnement en combustible et d'un groupe électrogène complet.

L'étude des données fondamentales relatives aux services publics porte sur les points suivants : alimentation en eau, collecte des eaux usées, ramassage des déchets solides, énergie électrique et combustible. Il y a des considérations relatives à chaque thème. Dans chaque cas, le premier élément déterminant à considérer est une évaluation du système existant.

Figurent sous la rubrique "alimentation en eau" : sources potentielles, analyse de l'eau, quantités d'eau disponible, stockage et traitement de l'eau.

La section "collecte des eaux usées" traite de la quantité et de la qualité des eaux usées, des conditions du sol et de l'évacuation des eaux usées.

S'il n'existe pas de système d'élimination des déchets solides sur le site du projet considéré, on tient compte d'éléments comme les conditions de gel, de pergélisol, les chutes de neige, les inondations et les vents. De plus, on cherche un lieu de décharge et un système de transport des déchets par véhicule.

Si le site de l'école est alimenté en électricité, on considère divers facteurs comme le coût de l'énergie, le contrôle des variations de tension, la puissance et la fiabilité. Si un nouveau système de fourniture d'électricité doit être construit, il faut considérer : les coûts de production, la logistique, les conditions climatiques, l'état des sols et les codes de construction.

Partout dans la zone d'étude, on recourt au mazout pour chauffer les bâtiments et produire de l'énergie. Comme pour les autres services, il faut dans ce cas commencer par déterminer quelles installations de stockage existent sur les lieux. Il faut ensuite considérer l'état du sol, les conditions de gel, la protection de l'environnement, les méthodes de livraison et de distribution du combustible, les codes de sécurité incendie et les besoins en électricité.

Les données fondamentales relatives aux services publics comprennent :

1) Alimentation en eau

Système existant

Repérage des sources potentielles

Analyse de la qualité de l'eau

Évaluation des quantités d'eau disponibles

Stockage de l'eau (besoins)

Traitement de l'eau (besoins)

2) Évacuation des eaux usées

Système existant

Quantité et qualité des eaux usées

État du sol

Conditions d'évacuation

3) Ramassage des déchets solides

Système existant

4) Énergie électrique

Électricité et fiabilité du service

Coût du service électrique

Variations de tension

Caractéristiques de tension

Coût de production de l'électricité

Logistique

Temps froid

Sols et pergélisol

Codes

5) Combustible

**Options du programme de construction d'écoles secondaires.** — L'analyse de prototypes d'écoles rurales vise surtout la conception de petites écoles secondaires dans les régions isolées. La présente section traite de quatre types d'installations, correspondant aux catégories d'effectifs scolaires définies par le Department of Education. Les districts scolaires locaux déterminent l'importance des effectifs à partir des inscriptions actuelles et futures, et de divers autres critères.

Les quatre catégories d'effectifs scolaires sont les suivantes : 1) 10 élèves ou moins; 2) 11 à 20 élèves; 3) 21 à 32 élèves; 4) 33 à 46 élèves. On a préparé un dossier de conception, dans lequel on a inclus l'information suivante pour chacune des catégories ci-dessous :

**Généralités.** — Une brève description du programme scolaire, des besoins en personnel, de la taille des installations et du fonctionnement général de l'école, est présentée en fonction des effectifs prévus. Les options définies sous la rubrique "locaux requis" sont combinées, sous forme de diagrammes, pour démontrer divers concepts fondamentaux permettant d'intégrer les différentes fonctions des locaux dans un plan général de construction.

**Programme scolaire.** — Les exigences générales du programme scolaire sont énumérées (par ex. mathématiques, sciences, éducation physique, etc.) pour chacun des cas à traiter. Une description des activités donne le détail des types d'expériences et des groupes scolaires pour lesquels les installations doivent être conçues. De là sont déduites les exigences qualitatives concernant l'espace disponible (classes, laboratoires, locaux ayant plusieurs fonctions, etc.) Ainsi, l'enseignement des mathématiques exige une salle de classe alors que l'enseignement des sciences exige aussi un laboratoire.

**Locaux requis.** — Le programme scolaire définit les types de locaux requis pour chaque programme d'étude. Cette section élabore un programme de construction pour chaque espace d'un établissement scolaire, avec une description des locaux et des services requis, une liste de l'équipement et des exigences spéciales de chaque type d'espace; on suggère encore une conception possible donnant les dimensions, la fonction du local et les limitations. Cette section s'intéresse également à la planification des locaux non scolaires : salle des machines, salle de l'équipement d'entretien et toilettes.

Lignes directrices du DOE sur les salles de classes secondaires. — Un résumé des lignes directrices du DOE sur les salles de classes secondaires figure à la fin de chaque section. On indique l'espace total à allouer par catégorie d'effectifs scolaires et on fait des recommandations concernant les locaux particuliers en fonction du programme scolaire et de l'effectif des classes.

La section sur le programme de construction est un document de base pour la planification et la conception. Elle est destinée à aider les représentants des districts scolaires et les architectes dans l'examen des concepts fondamentaux et dans la définition des priorités en ce qui concerne l'aménagement spatial. Le plus souvent, la surface nécessaire pour abriter toutes les composantes du programme de construction sera supérieure au total prévu par les lignes directrices du DOE. En effet, il faut prévoir des locaux supplémentaires : salles aisément accessibles et fonctionnelles pour l'équipement d'entretien et les machines; réfectoire; vestiaires et toilettes de dimensions adéquates; épaisseur des murs; entreposage général. Les services et les travaux de logistique peuvent exiger de l'espace eux aussi : épuration des eaux usées, traitement de l'eau, production d'électricité, etc. Pour assurer le bon fonctionnement d'une installation scolaire dans les régions isolées, il est essentiel d'allouer un local adéquat aux services que requièrent le terrain et les bâtiments, ainsi que l'exploitation et l'entretien des installations.

Cette étude vise essentiellement les écoles secondaires et s'appuie sur les lignes directrices du DOE concernant les salles de classes secondaires. Cependant, la plupart des installations neuves seront en réalité employées comme locaux mixtes — l'école secondaire partageant une partie de ses locaux avec une école élémentaire déjà existante. Deux établissements peuvent notamment avoir en commun une salle à usages multiples, une bibliothèque, un réfectoire, une zone administrative et des services publics. Notons que les lignes directrices du DOE concernant des établissements élémentaires et secondaires sont beaucoup plus généreuses en ce qui concerne l'allocation de locaux à usages multiples. Dans les villages où le Bureau of Indian Affairs dirige les écoles élémentaires, la salle à usages multiples de la classe secondaire et d'autres salles encore seront partagées — mais les deux écoles seront exploitées comme des établissements distincts.

Voici quelles sont les divisions de la section portant sur les "options du programme de construction d'écoles secondaires", pour chacune des quatre catégories d'effectifs scolaires : généralités; programme scolaire; locaux requis pour chaque type d'activité; lignes directrices du DOE concernant l'espace à allouer aux salles de classes secondaires.

**Options en matière de sécurité et de salubrité des bâtiments.** — Pour concevoir et exploiter économiquement un établissement scolaire, il faut soigneusement considérer l'usage des bâtiments, les dangers que peut présenter l'environnement local, et la sécurité incendie. Il faut prévenir les dégâts dus au vandalisme, au feu et au gel.

La conception des installations scolaires doit inclure une analyse approfondie des dégâts qui peuvent résulter du vandalisme. Ceci comprend la sélection des matériaux et de l'équipement exposés aux regards. Le prix initial de la plupart des composantes d'un projet constitue une proportion moindre du coût total dans les régions éloignées qu'en milieu urbain, en raison des frais supplémentaires d'expédition, d'installation ou de montage.

La sécurité incendie dans le Nord pose des problèmes particuliers aux propriétaires et aux concepteurs. Souvent, la protection contre l'incendie est inexistante. Les solutions habituelles font appel à une technique classique, dangereuse et coûteuse à cause du manque de personnel d'entretien qualifié, du grand risque de gel, et de la difficulté de protéger les constructions utilisant des matériaux inflammables (charpente en bois).

Le gel est un phénomène dont il faut aussi tenir compte dans la conception d'un bâtiment et de ses composantes. En effet, il y a de grandes chances que le bâtiment soit affecté par le gel un jour ou l'autre. Dans tout plan de protection contre le gel, le concepteur doit tenir compte de l'accessibilité de la tuyauterie et sélectionner avec soin le type de matériaux employés pour les canalisations.

Divers points des codes actuellement en vigueur nuisent aux bâtiments et services dans les zones arctiques éloignées. Les divers organismes de réglementation devraient mettre au point une politique standard concernant l'examen des plans des bâtiments, qui tienne compte des conditions particulières et qui uniformise les interprétations. L'État doit demander aux autorités compétentes qu'elles uniformisent l'interprétation des codes et les systèmes d'approbation. On devrait mettre sur pied un programme pour rechercher et analyser des solutions; on présenterait les solutions proposées aux organismes ou agences nationales de réglementation, et les autorités locales disposeraient d'une base pour approuver ou refuser les différents projets.

Nous énumérons ci-dessous les principaux éléments des codes actuels qui influent considérablement sur la construction des écoles rurales. Nous indiquons également les interprétations données par les autorités.

La section du rapport portant sur la sécurité et la salubrité des bâtiments comprend les divisions suivantes :

1) Protection contre le vandalisme

Considérations de génie civil  
 Considérations architecturales  
 Considérations mécaniques

2) Sécurité incendie

Life Safety Code NFPA 101 (National Fire Protection Association)

Avertisseur d'incendie manuel  
 Avertisseur d'incendie automatique  
 Réseau d'extincteurs à eau "Life Safety"  
 Réseau d'extincteurs à eau "Iso Building"  
 Armoire à boyau d'incendie  
 Extincteurs à cartouche

3) Protection contre le gel

Conception du bâtiment  
 Exploitation du bâtiment

4) Application des codes

Densité d'occupation d'après UBC (*Uniform Building Code*)  
 Exigences UBC pour les usages de type E  
 Placards de rangement et d'entretien  
 Fermeture automatique des portes  
 Bâtiment à deux étages  
 Exigences UBC relatives aux issues des salles d'appareils à combustibles  
 Exigences du *Uniform Mechanical Code* relatives à l'air de combustion  
 Exigences relatives aux registres coupe-feu  
 Chambres de répartition de chaleur  
 Application des codes de prévention des incendies  
 Exigences UBC de résistance au feu  
 Classification UBC des indices de propagation de la flamme

**Options possibles de services publics pour un établissement scolaire.** – Pour les besoins de cette étude, les services publics comprennent la distribution d'eau et l'évacuation des eaux usées, l'élimination des déchets solides, l'alimentation en électricité et l'approvisionnement en combustible. Une multitude de systèmes entrent dans la catégorie des services. La conception et le fonctionnement de ces systèmes peuvent être simples ou complexes, le degré de complexité dépendant des contraintes de l'environnement et des aptitudes techniques de l'opérateur.

Du point de vue du propriétaire, il faut que les systèmes soient fonctionnels et simples à utiliser; il faut aussi qu'ils soient de bonne qualité, à un prix minimal. Du point de vue du concepteur, tout en respectant des exigences assez rigoureuses. Par nécessité, on met fréquemment à l'essai des solutions nouvelles que le climat de l'Alaska occidental soumet à rude épreuve.

Distribution d'eau

Il est possible que la nouvelle école puisse s'approvisionner à un réseau de canalisations déjà construit ou à un point d'eau existant. Mais le plus souvent, il faut trouver une nouvelle source d'approvisionnement en eau pour l'établissement. S'il faut envisager le forage d'un nouveau puits, on étudiera les diagrammes des puits existants, afin de déterminer où se trouve la couche aquifère et quelle quantité d'eau elle renferme. Il faut également considérer les méthodes de distribution d'eau, de protection contre le gel, de traitement de l'eau, et les exigences d'exploitation et d'entretien.

Il arrive qu'un nouveau puits ne soit pas une solution valable, mais qu'on puisse s'approvisionner à partir d'une rivière ou d'un lac avoisinant. Dans ce cas, il faut déterminer la qualité et la quantité de l'eau, la profondeur du plan d'eau et l'épaisseur de la glace. En Alaska, le Department of Environmental Conservation exige que toutes les eaux de surface (situées à moins de trente pieds de profondeur du sol) soient filtrées et chlorées. Si on décide d'utiliser une eau de surface, il faudra considérer les questions de distribution, de protection contre le gel, de traitement, d'entretien et d'exploitation.

Au pis, si on ne peut pas utiliser l'eau d'un puits ou d'un plan d'eau à cause du pergélisol ou de l'intrusion d'eau salée, il faudra peut-être recueillir les précipitations ou faire fondre la glace. Des méthodes coûteuses, comme le traitement de l'eau par osmose inversée, sont utilisées dans certains villages. En outre, les systèmes de recyclage des eaux grises ou noires permettent d'économiser l'eau potable.

#### Évacuation des eaux usées

La première option en matière d'évacuation des eaux usées est la suivante : il existe un réseau public dans la localité et il suffit d'y raccorder la nouvelle école. Toutefois, c'est généralement l'exception. Dans la zone étudiée, le mieux qu'on puisse espérer est qu'il existe déjà un établissement scolaire équipé d'un système de rejet des eaux usées : installation d'épuration, bassin de stabilisation ou fosse septique avec "champ d'absorption". Pour tout branchement à un système existant, il faut tenir compte de la capacité du système, de la méthode de raccordement, de la protection contre le gel et des exigences d'exploitation et d'entretien.

Dans les petits villages ou ceux qui sont isolés, si les conditions des eaux souterraines ou du pergélisol permettent pas qu'on rejette les eaux-vannes à proximité de l'école, il faut recourir au système existant de transport par véhicule jusqu'à une fosse à boues. Lorsque l'eau est très rare, ce système peut être avantageux. Mais les problèmes de ramassage et de transport des déchets, ou les risques de contamination et de contagion, peuvent annuler tout avantage.

Lorsque l'état du sol le permet, le système le plus rentable pour une petite école peut être une fosse septique avec "champ d'absorption". Cependant, l'état du sol dans la majeure partie de la zone étudiée ne permet pas l'aménagement du champ d'absorption; il faut chercher un autre système d'élimination.

Des usines d'épuration des eaux usées ont été implantées dans la région avec des résultats variables. Pour bien fonctionner dans cette région, toute installation d'épuration nécessite une enceinte, qui maintient une température modérée. Les effluents doivent être éliminés de manière sûre. Les règlements de l'État de l'Alaska et du gouvernement fédéral exigent que les eaux réceptrices soient protégées. Les effluents de plusieurs usines d'épuration existantes sont traités par lagunage ou rejetés dans un étang naturel n'ayant aucune sortie apparente. Le principal inconvénient d'une station d'épuration est qu'elle exige la présence presque continue d'un opérateur.

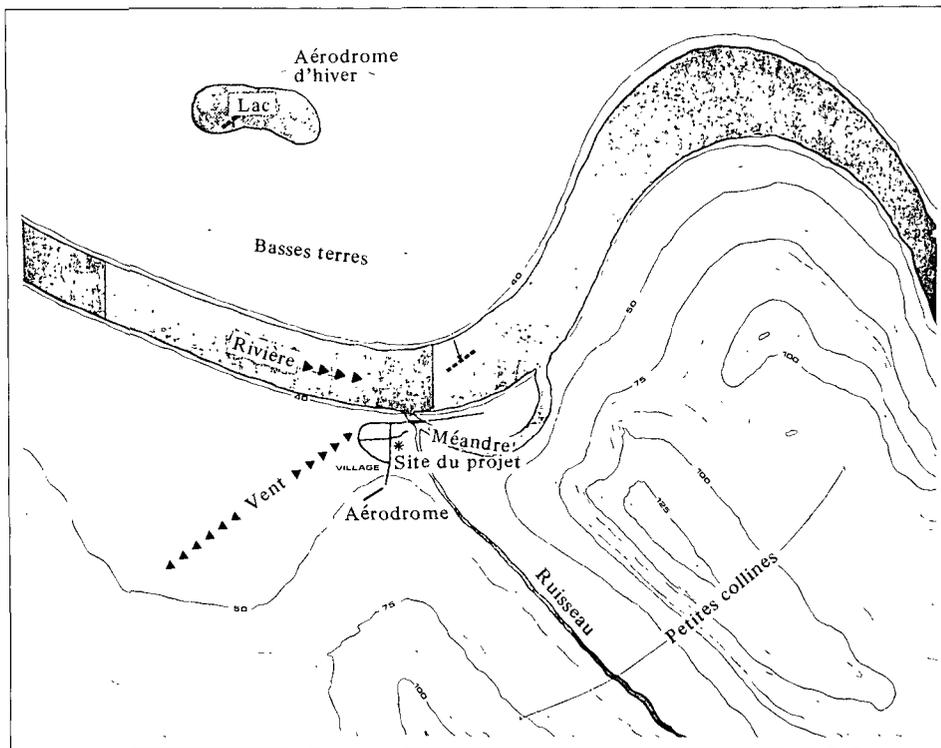
Une autre option, qui devient plus courante, est celle d'un étang aérobie-anaérobie. Les eaux usées s'écoulent par gravité ou sont pompées depuis le bâtiment de l'école jusqu'à un bassin, d'une capacité d'eaux usées suffisante pour une année, avec une marge de sécurité confortable pour la précipitation. Deux types de considérations sont essentielles pour ce système de lagunage : premièrement, l'isolation de la canalisation menant au bassin, et deuxièmement, les mesures à prendre pour empêcher le bassin de détériorer le pergélisol et de polluer une source d'eau potentielle. Les exigences d'exploitation et d'entretien sont minimales; le seul travail important est la vidange périodique du bassin, par quelque moyen salubre.

#### Élimination des déchets solides

Dans les régions qui n'ont pas de service public d'élimination des ordures, il est souhaitable que le personnel de l'école détermine un lieu de décharge. Les considérations suivantes doivent primer : il faut éviter la contamination de l'eau souterraine, réduire au minimum la dispersion des ordures, disposer d'un matériau de remblayage et éviter les inondations.

#### Énergie électrique

Le groupe électrogène diesel est le seul moyen pratique de produire de l'énergie électrique dans la région étudiée, et il risque d'en être ainsi pour plusieurs années à venir. Deux options se présentent : achat d'énergie électrique ou production sur place par le district scolaire. Dans les endroits isolés, l'électricité coûte cher en général et le rendement des services est peu élevé. Pour le district scolaire, il peut être plus commode de s'approvisionner à partir des sources existantes, ou plus rentable à long terme de produire l'électricité. Les prix de revient des deux options doivent être comparés. On doit également évaluer la fiabilité et le rendement des services : nombre et durée des pannes d'électricité à prévoir, contrôle des variations de tension, fréquence, etc.

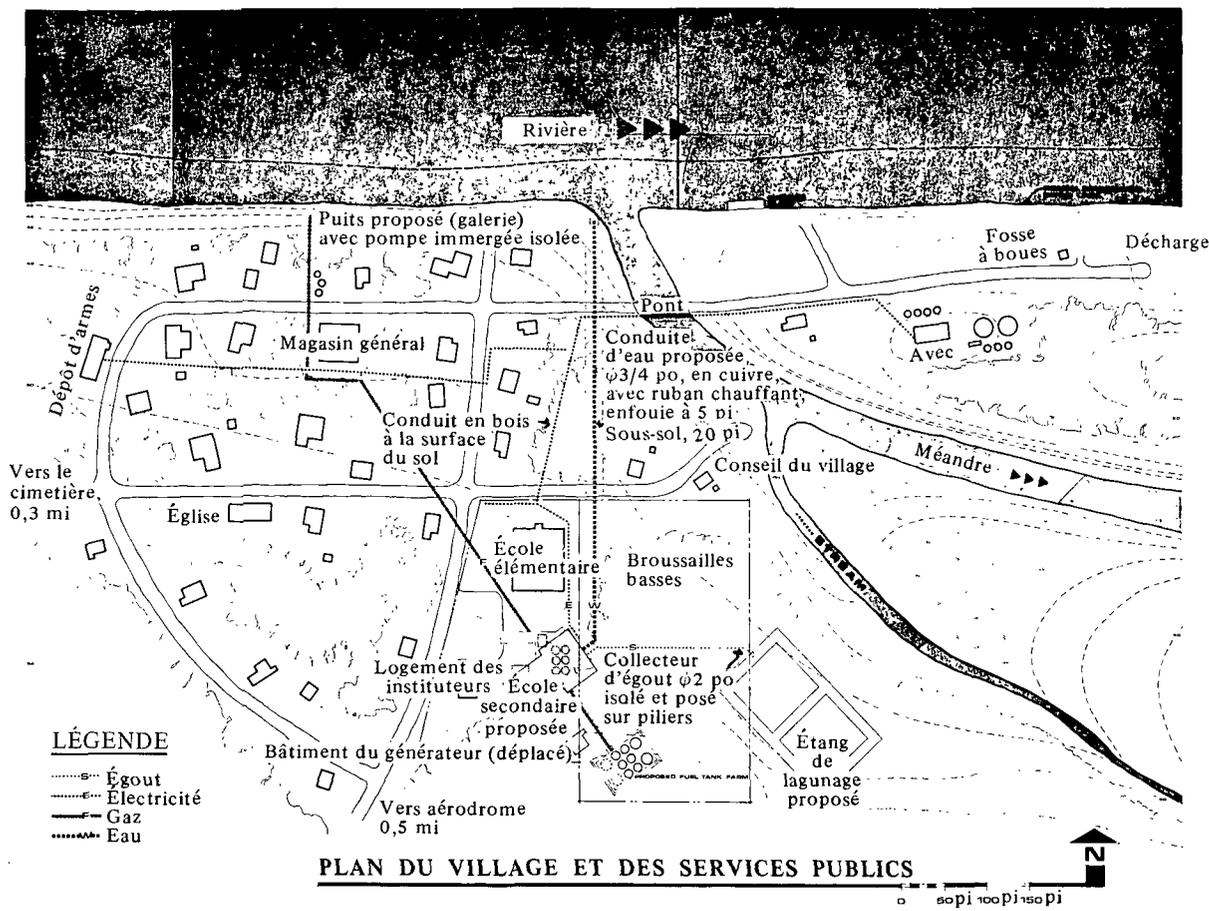


PLAN DES ENVIRONS

École secondaire Kuchpu  
(exemple de conception)

Plan des environs B-17B

n° 1



PLAN DU VILLAGE ET DES SERVICES PUBLICS

École secondaire Kuchpu  
(exemple de conception)

Village et services

n° 2

Si on opte pour l'achat d'électricité, les besoins en énergie électrique doivent être communiqués au fournisseur aussitôt que possible. Un établissement scolaire peut accroître de 100 p. cent ou plus la charge des services du village. Aucun service de distribution ne peut absorber une augmentation de cette importance sans une planification préalable.

#### Combustible

À l'heure actuelle, les recommandations ne portent pas sur le type de combustible mais sur les quantités. Il peut y avoir un choix à faire quant à la dimension, à l'emplacement et à la construction des réservoirs. Le type de fondations des réservoirs dépend de l'état du sol.

La taille des réservoirs peut dépendre du mode de leur expédition. Lorsque le seul moyen de transport est le gros avion durant les mois d'hiver, on peut opter pour de grands réservoirs en pièces détachées. Depuis de nombreuses années, les réservoirs de stockage verticaux, à emboîtement, sont les plus utilisés. Dans certains cas, la meilleure solution consiste à utiliser des réservoirs horizontaux montés sur patins et à les trainer jusqu'à leur emplacement définitif.

Le plus souvent, il est souhaitable de stocker dans un même endroit le combustible pour la production d'énergie électrique et pour le chauffage. De préférence, le réservoir principal sera situé loin de l'école et du générateur; seule la quantité de combustible nécessaire pour une journée sera stockée.

La section sur les options de services publics sur le site d'une école comprend les points suivants :

#### 1) Distribution d'eau

Réseau de canalisations existant

Point d'eau existant

Nouveau puits

Installation d'une prise d'eau – alimentation continue

Installation d'une prise d'eau – alimentation intermittente

Source d'eau salée

Collecte des précipitations

Codes pertinents

Importance relative des données fondamentales

#### 2) Évacuation des eaux usées

Réseau de canalisations existant

Système existant de transport par véhicule jusqu'à une fosse à boues

Aménagement d'une fosse septique

Aménagement d'un étang de lagunage

Usine de traitement des eaux usées

#### 3) Élimination des déchets solides

Décharge existante

Aménagement d'une nouvelle décharge

#### 4) Énergie électrique

Achat d'énergie électrique

Achat d'électricité produite sur place

Planification

#### 5) Combustible

Exigences minimales

Construction des réservoirs

Utilisation

Installation

### LIEUX POSSIBLES DE CONSTRUCTION

**Planification du développement.** — Une donnée clé dans la conception des établissements scolaires est l'évaluation des besoins actuels et futurs du village. L'évaluation doit couvrir non seulement les salles de classe mais également les services d'eau et d'égout, l'élimination des déchets solides, liquides, la production d'énergie

électrique, le stockage du combustible et les systèmes de distribution connexes. Cet examen global permet une meilleure utilisation des ressources financières et humaines pour la construction, l'entretien et l'exploitation des installations.

Un plan directeur est nécessaire pour déterminer la meilleure façon de satisfaire aux exigences de rendement, et pour planifier la croissance harmonieuse de l'établissement. On peut ainsi minimiser les coûts élevés de relocation ou de duplication des services, et prévoir au mieux son expansion.

Une école avec son centre culturel, ses ateliers industriels, son gymnase, etc., peut être utilisée à des fins scolaires pendant la journée et à des fins communautaires le soir, les fins de semaine ou pendant les vacances. (Voir la section 7.3.)

L'aménagement d'une école représente souvent le plus gros investissement d'un village. En plus d'assurer l'enseignement, un centre scolaire peut fournir de l'eau, de l'énergie électrique et des services d'égout. D'autres bâtiments situés dans le voisinage (clinique, salle de réunion), peuvent être raccordés au réseau d'eau et d'égout de l'école, et s'alimenter en électricité à partir de la même source.

Dans certains villages, il peut être avantageux de rattacher l'établissement scolaire à des bâtiments communautaires nouveaux ou déjà existants, pour créer un centre d'éducation et de services communautaires. Avec ce concept, les installations communautaires comme le centre de santé, l'école et la buanderie sont situées tout près des autres bâtiments équipés de services (eau, égout et électricité). Cette partie du village peut devenir le centre des activités communautaires et le point central de distribution des services. Un complexe de ce genre permet : 1) de construire des installations plus modernes; 2) de diminuer les coûts de construction; 3) de réduire les coûts d'exploitation et d'entretien; 4) d'appliquer des mesures d'entretien préventif.

En général, le plus grand obstacle à un tel regroupement est la difficulté que pose la coordination des buts et programmes des organismes publics intéressés. Dans une étude récente intitulée *Waste Heat Capture Study* (et préparée pour le Department of Commerce and Economic Development), on peut lire : "Si les divers organismes (dont l'AVEC) coordonnaient leurs efforts pour concevoir les projets, les planifier et choisir l'emplacement des installations, il est fort probable que dans certains villages la consommation de combustible par les groupes électrogènes pourrait diminuer de 25 p. cent."

La section sur le plan d'ensemble pour la construction comprend les éléments suivants :

1) Planification du développement

Concepts d'organisation

Évaluation des concepts du plan directeur

2) Choix et modification de l'emplacement

Contraintes liées à l'environnement

3) Intégration à la localité

Pistes et chemins existants

Services publics existants

Habitations existantes

Utilisation des matériaux

Commodités extérieures

4) Emplacement

Écoulement des eaux

Excavations

**Options relatives au revêtement et à la structure des bâtiments.** — Le milieu arctique impose au revêtement et à la structure des bâtiments des épreuves qui dépassent les possibilités de la technique conventionnelle des climats plus tempérés. La conception de systèmes adaptés aux conditions climatiques du Nord est une tâche sérieuse et difficile. Actuellement, les concepteurs s'appuient sur une technique développée, en grande partie, pour le Sud. Il n'existe pas encore vraiment de matériaux et d'équipements spéciaux, adaptés aux dures conditions de l'Arctique. À cause des récents projets pétroliers dans l'Arctique et du souci de conservation de l'énergie, on a commencé à développer de nouvelles techniques pour le Nord. Cependant, il reste beaucoup à faire. Souvent, on ne dispose pas de ressources financières suffisantes pour tirer tout le parti possible des matériaux conventionnels, ou pour trouver des solutions nouvelles.

En milieu arctique, les matériaux de revêtement sont mis à rude épreuve. En raison de facteurs logistiques et économiques, on opte généralement pour une construction classique à charpente en bois, soumise dès lors à des conditions extrêmes : intempéries, transfert de chaleur et transfert de vapeur. De plus, les concepteurs sont tenus de se conformer aux codes de construction en vigueur et de suivre les pratiques courantes.

Dans cette section, on énumère l'éventail actuel d'options classiques pour les murs, toits, planchers, portes, fenêtres et vides techniques.

Une liste d'options recommandées pour les conditions rencontrées dans la région étudiée est donnée ci-dessous.

La section sur les options relatives au revêtement et à la structure des bâtiments traite des points suivants :

1) Sol

Évaluation des conditions

2) Fondations

Semelles de fondation superficielles

Pieux

Pilotis

Dans le pergélisol

Résumé

3) Composantes du revêtement extérieur  
des bâtiments

Enveloppe extérieure

Structure de l'enveloppe extérieure

Couche isolante

Pare-vapeur

4) Composantes extérieures de la structure  
des bâtiments

Ossature des planchers

Systèmes de planchers

Murs extérieurs

Toit

5) Éléments de surface intérieurs

Planchers intérieurs

Murs intérieurs

Plafonds

6) Ouvertures architecturales

Fenêtres

Portes

7) Ventilation et vides techniques

Air de combustion

Admission, évacuation et détente de l'air de ventilation

Événements de plomberie

Cheminées et prises d'air

Ouvertures pour tuyauterie

8) Entrées

Vestibule

**Options relatives aux services publics.** — La présente section traite de la plomberie, du chauffage, de la ventilation et du système électrique des bâtiments. Une école rurale étant souvent isolée et située dans un environnement peu clément, on doit étudier les différents services dans un ordre bien particulier. L'électricité est nécessaire au fonctionnement des systèmes de plomberie, de chauffage et de ventilation. La fonction la plus importante assurée par l'électricité est celle du chauffage; sans chauffage adéquat, le bâtiment est inutilisable. Sans les systèmes de ventilation et de plomberie, le bâtiment peut servir dans une certaine mesure, même si la situation présente des inconvénients.

Les avantages et les inconvénients reliés aux composantes suivantes sont traités dans la section sur les options relatives aux services publics :

1) Systèmes de chauffage

Charge totale du bâtiment

Source de chaleur

Système de distribution

2) Systèmes de ventilation et de refroidissement

Exigences de ventilation

Optimisation des quantités d'air de ventilation

Commandes de température par zone

Expansion future

Systèmes de ventilation

3) Plomberie

Exigences en matière de robinetterie

Distribution d'eau potable et non potable

Évacuation des eaux usées

4) Énergie électrique

Généralités

Production sur place

Alimentation en électricité et distribution

Éclairage

Communications

5) Intégration des systèmes existants

Généralités

Distribution d'eau

Évacuation des eaux usées

Coordination avec les autres services

Énergie électrique et production sur place

Systèmes de communications

Éclairage

Chauffage et ventilation

## VOLUME II, MÉTHODOLOGIE

L'information contenue dans le premier volume : *Données fondamentales et options possibles*, sont utilisées dans le volume II, Méthodologie, et appliquées à un établissement scolaire fictif.

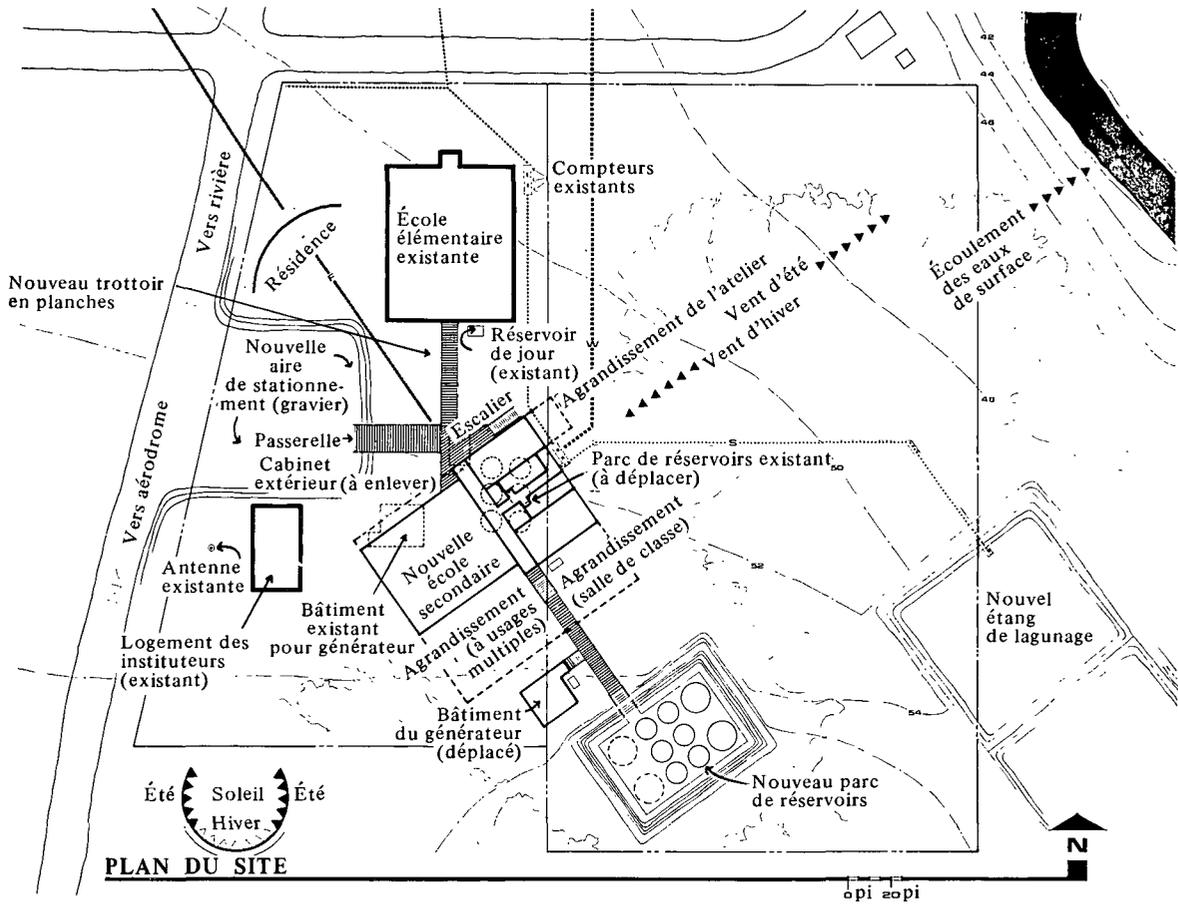
Cette partie comprend deux sections :

- Liste de vérification des données fondamentales requises pour la conception. – Une liste de vérification est fournie pour guider la cueillette des données spécifiques au site. Ces données fondamentales sont utilisées pour préciser et évaluer la portée du projet, établir un programme, sélectionner les options de conception et développer un concept schématique.

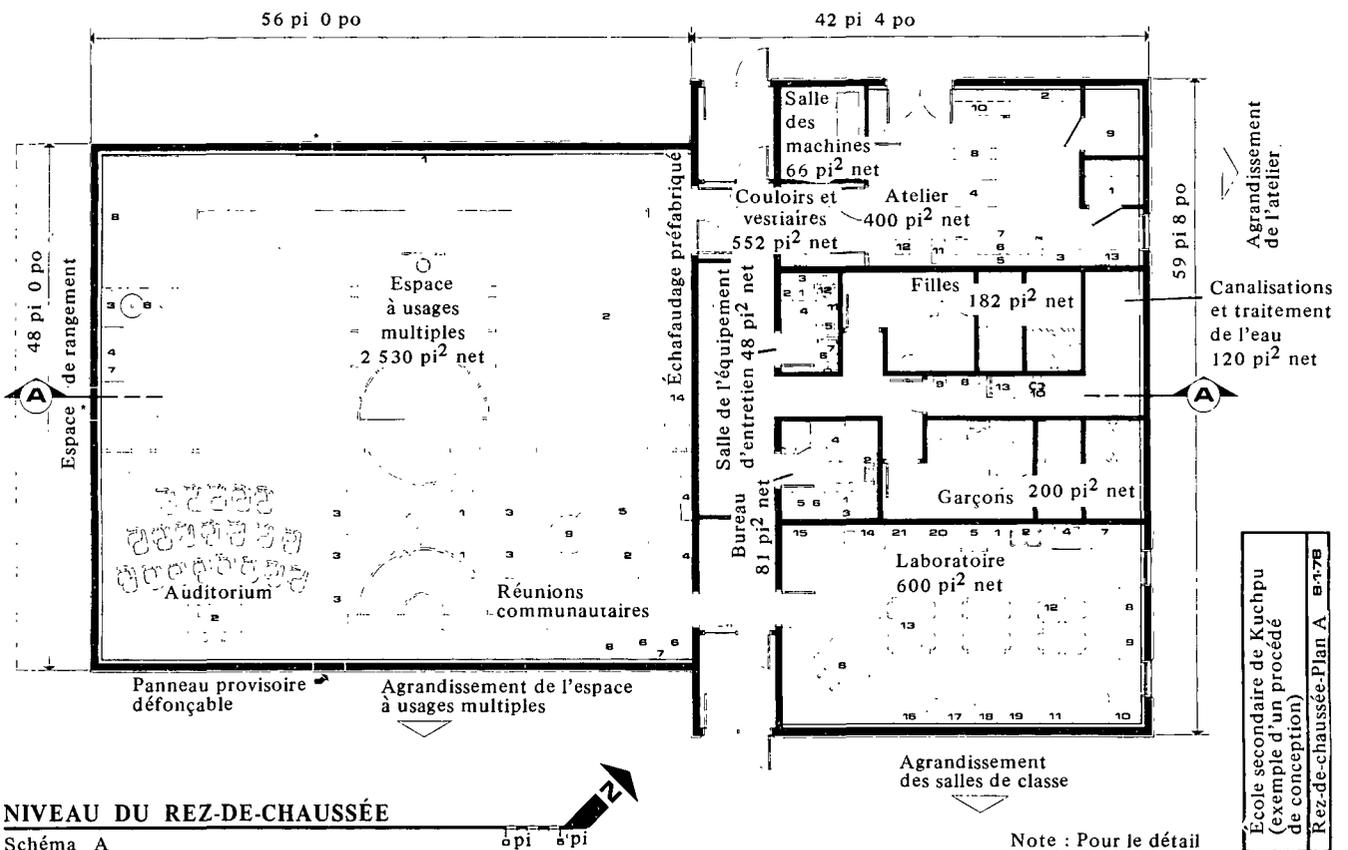
- Exemple de conception. – Un exemple est donné pour démontrer l'application du processus de conception à la construction d'une école secondaire, dans le village fictif de Kuchpu (Alaska).

Dans la section B.1, on repère les données fondamentales requises pour la conception à partir de la liste de vérification. Ce sont là les renseignements qui doivent être réunis avant de passer à l'étape de la conception des installations.

Dans la section B.2, un procédé de sélection des options est établi pour le prototype d'école. On doit choisir entre divers types de planchers, plafonds, systèmes mécaniques et électriques, etc. L'information rassemblée dans la liste de vérification permet de faire un choix entre des systèmes différents, tels que le chauffage à air pulsé ou le chauffage à fluide caloporteur, les fondations sur pieux ou les fondations à piliers et semelles.



École secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé  
de conception)  
Plan du site  
B-17B  
n° 3



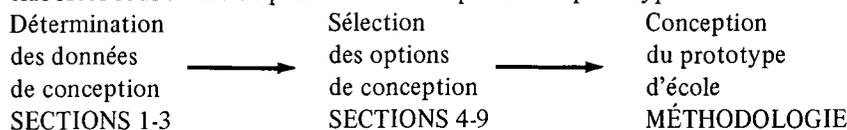
**NIVEAU DU REZ-DE-CHAUSSEE**

Schéma A

École secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé  
de conception)  
Rez-de-chaussée-Plan A  
B-17B  
n° 4

Note : Pour le détail de l'équipement, voir plans de la partie I, Section 4.23

Dans la section B.3, les options retenues sont résumées dans un texte intitulé *Base de conception*, puis élaborées sous forme de plans des services publics du prototype d'école.



**A. – Liste de vérification des données requises pour la conception.** – La liste de vérification ci-après a été établie pour guider les concepteurs dans la collecte de l'information essentielle à l'établissement du programme de construction. La liste de vérification s'appuie sur les sections 1 à 3 du volume I, auxquelles on peut se référer pour la compilation des données. Voici un exemple d'information à inclure dans la liste de vérification à la section B.1 du volume II : "Exemple du procédé de conception : conception d'une école secondaire pour le village fictif de Kuchpu".

Pour obtenir les données permettant de préciser la portée du projet, le programme et la conception, il faut établir la liste de vérification. On pourra ensuite s'y référer couramment pour prendre des décisions importantes ou les évaluer. Les informations contenues dans la liste de vérification peuvent être recueillies entièrement ou partiellement par le district scolaire, l'État ou l'ingénieur chargé du projet. Sitôt cette tâche accomplie, il est possible d'envisager les problèmes qui pourraient surgir en rapport avec la portée du programme de construction, ou l'une ou l'autre de ses phases. On peut donc faire les ajustements budgétaires nécessaires avant de rédiger les contrats et de passer à la conception.

Le repérage des données requises pour la conception fournit à l'ingénieur-architecte chargé du projet une aide pour mettre au point des installations mieux adaptées au programme de construction, au milieu et à la localité.

## LISTE DE VÉRIFICATION

---

### Données requises pour le programme de construction

---

1) Utilisation des bâtiments Effectifs scolaires Personnel Méthodes pédagogiques Programmes scolaires Intégration d'équipement et de programmes scolaires existants Place de l'école au sein de la collectivité Technique entretien Future expansion Estimation de la vie utile des installations Conception d'installations spéciales pour les personnes handicapées	3) Sécurité des personnes Sécurité incendie Réseaux d'extincteurs Systèmes d'alarme Matériaux de construction Sorties Protection contre le gel Protection contre l'inondation Protection contre le vandalisme Site du projet Droits du propriétaire Budget
2) Sécurité des bâtiments Sécurité incendie Réseaux d'extincteurs Avertisseurs d'incendie Matériaux de construction Emplacement du bâtiment	4) Budget

---

## Données fondamentales du milieu

1) Climat	
Latitude et longitude, altitude	Géologie
Température	Zone sismique
Température moyenne (hiver/été)	Repérage des sources de gravier utilisables
Limites de température (supérieure et inférieure, °F)	Hydrologie
Température diurne (°F)	Inondations et érosion
Degrés-jours de chauffe	Crue maximale
Degrés-jours de gel	Représentation graphique des tendances de l'érosion
Degrés-jours de dégel	
Nombre de jours consécutifs aux températures limites	3) Logistique
Températures hivernales avec facteur de refroidissement du vent	Calendrier des travaux
Précipitations	Emplacement
Moyenne annuelle des précipitations liquides	Date prévue d'achèvement des travaux
Moyenne annuelle des précipitations neigeuses	Autres projets de construction dans le voisinage
Chute de neige maximale en 24 heures	Transport aérien
Surcharge due à la neige (valeur de calcul)	Description de la piste et des caractéristiques d'atterrissage, notamment
Types de congères	Longueur
Vents	État de la piste
Vents d'hiver	Restrictions
Dominants	Caractéristiques des avions disponibles
Vitesse	Types d'avions, dimensions
Direction	Restrictions concernant les dimensions du fret
Fréquence	Horaires
De tempête	Transport par eau
Vitesse	Description des moyens de transport ponibles, dont
Direction	Repérage des routes
Fréquence	Grandeur et type des embarcations (navires, péniches, etc.)
Vents d'été	Limitation de tonnage
Dominants	Transport terrestre
Vitesse	Description des systèmes de transport terrestre
Direction	Chemins, pistes, etc., caractéristiques saisonnières (routes d'hiver, etc.), liaison avec systèmes de transport par avion et par eau; état des chemins et pistes et restrictions relatives à la grandeur et au poids des véhicules
Fréquence	Disponibilité et qualifications de la main-d'oeuvre locale
De tempête	Existence d'équipements locaux
Vitesse	État de l'équipement
Direction	Propriétaires
Fréquence	Conditions d'utilisations, c'est-à-dire location, emprunt, achat, etc.
Vent catabatique (vents d'été et d'hiver)	Communications
Charge due au vent (valeur de calcul)	Repérage des moyens disponibles
2) Géotechnique et hydrologie	
Géotechnique	
Topographie	
Sols	
Pergélisol	
Températures	
Teneur en glace	
Profondeur du pergélisol	
Profondeur du mollisol	
Couverture végétale	

## Données fondamentales relatives au site

1) Alimentation en eau	5) Combustible
Système existant	Installation existantes
Repérage des sources potentielles	Construction et conformité aux codes
Eaux de surface	Emplacement
Eaux souterraines	Besoins de stockage
Analyse de l'eau	Consommation en combustible
Couleur, goût odeur	Moyens et fréquence de livraison du combustible
Composition chimique	Capacité de stockage
Composition biologique	État du sol
Évaluation des quantités d'eau disponibles	Emplacement des réservoirs de stockage du combustible
Stockage de l'eau (besoins)	Fondations des réservoirs de stockage
Traitement de l'eau (besoins)	Conditions de gel
	Températures limites
2) Évacuation des eaux usées	Dimensions des canalisations de combustible
Système existant	Protection du milieu naturel
Quantité et qualité des eaux usées	Dimensions et construction des murs de rétention
État du sol	Livraison du combustible
Conditions d'évacuation	Mode de livraison
	Installations de déchargement
3) Ramassage des déchets solides	Distribution du combustible aux bâtiments
Système existant	Acheminement
	Protection
4) Énergie électrique	Codes de prévention des incendies
Disponibilité et fiabilité des services publics	NFPA n° 30; NFPA n° 31; OSHA; EPA
Coût de l'électricité fournie par les services publics	Besoins en électricité
Contrôle des variations de tension	Demande d'électricité
Caractéristiques de tension	Source d'alimentation
Coût de la production de l'énergie électrique (service public ou production sur les lieux)	Distribution
Logistique	
Temps froid	
Sols et pergélisol	
Codes	

**B.1 – Exemple du procédé de conception : conception d'une école secondaire pour le village fictif de Kuchpu (Alaska).** – Pour illustrer la manière d'utiliser ce rapport lors de la conception d'un projet, on a créé un village fictif qui serait situé dans la région du delta du Yukon, dans l'ouest de l'Alaska.

Le procédé de conception illustré comprend les étapes suivantes :

- Détermination des données requises pour la conception. – La présente section comprend une liste de vérification complète, montrant la présentation et le type de données dont on a besoin pour préparer le programme de construction d'une installation. La partie I, sections 1 à 3, a servi de guide pour les considérations et hypothèses formulées à propos de l'installation de Kuchpu. À partir des éléments déterminants qui furent retenus, on a sélectionné diverses options, mis au point un schéma de conception et fait une évaluation rapide de la conception en fonction de critères communément acceptés.

● **Sélection des options de conception.** — Sur le modèle de la partie I, sections 4 à 9, on explique comment choisir entre différentes options : par exemple, toit chaud ou froid, en pente ou plat. On s'est appuyé sur les éléments déterminants supposés pour adopter un système plutôt qu'un autre; ainsi, pour établir la forme du toit, on a dû choisir entre un toit froid et un toit chaud.

● **Schéma de conception.** — Il vient un moment où le concepteur doit faire la synthèse des options choisies, des éléments déterminants et des diagrammes, pour en arriver à un concept tri-dimensionnel. La section sur le schéma de conception présente donc le produit fini, sous forme de plans. Pour élaborer ces plans, on s'est appuyé sur la documentation écrite concernant le procédé de conception et sur l'intégration des données des parties B.1 et B.2 susmentionnées.

La première phase de la méthode de conception consiste à recueillir l'information dont seront dégagées les données fondamentales. Ce qui suit est un exemple de liste de vérification complète. On a supposé que certains points étaient du ressort des représentants du district scolaire, d'autres de l'architecte. Les données rassemblées dans la liste de vérification ont servi de base pour la conception du prototype d'école secondaire dans le village fictif de Kuchpu (Alaska). Elles sont proches des conditions types que l'on rencontre dans les régions du cours inférieur du Yukon et du Kuskokwim.

## 1 Détermination des données du programme de construction

### 1.1 Utilisation des bâtiments

1.1.1 Effectifs scolaires. — (17 élèves; catégories d'effectifs scolaires : 11 à 20 élèves). Il y a 8 élèves de niveau secondaire au village, mais il y en aura 40 d'ici deux ans quand le projet sera achevé. Encore cinq ans plus tard, on aurait 17 à 18 élèves. Il existe un petit village à 10 milles au nord de Kuchpu, mais le district scolaire a décidé que celui-ci serait doté de sa propre école. La population de Kuchpu est relativement stable et nous ne prévoyons aucun apport démographique marqué résultant d'une migration de population ou d'une mise en valeur de la région.

## 2 Détermination des données du milieu<sup>1</sup>

2.1.4 Vent. — Le terrain est bas, peu protégé par le relief ou les arbres. (Voir dessin n° 1.)

### 2.1.4.1 Vent d'hiver

Dominant. — Vitesse : 8 à 10 mi/h. Direction : du nord-est. Fréquence : assez constante.

De tempête. — Vitesse : 12 à 18 mi/h avec rafales jusqu'à 50 mi/h. Direction : du nord-est. Fréquence : 2 ou 3 fois par an.

### 2.1.4.2 Vent d'été

Dominant. — Vitesse : 8 à 10 mi/h. Direction : sud-ouest. Fréquence : assez constante.

De tempête. — Vitesse : 12 à 15 mi/h avec rafales jusqu'à 30 mi/h. Direction : du sud-ouest. Fréquence : 3 ou 4 fois par an.

2.1.4.3 Vent catabatique. — aucun.

2.1.4.4 Charge de calcul du vent. — 20 lb/pi<sup>2</sup>.

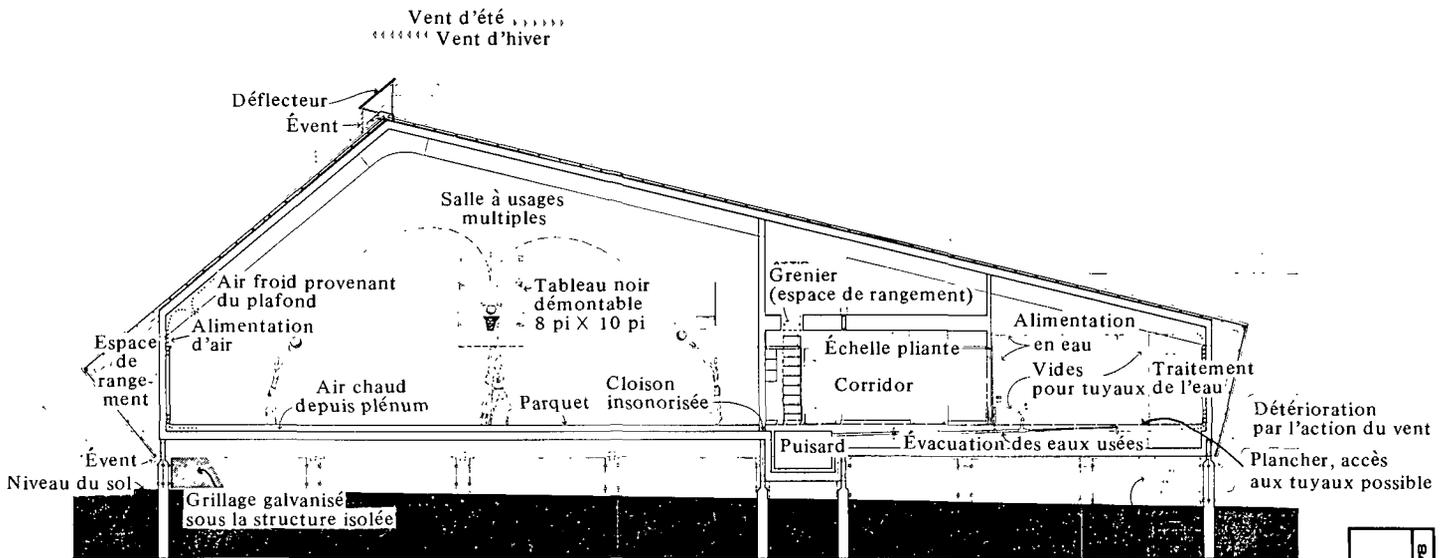
## 3 Données nécessaires pour les services publics

### 3.2 Évacuation des eaux usées

3.2.1 Système existant. — Il n'y a pas de réseau d'égouts au village. Le Service de la santé publique des États-Unis a examiné le cas; il se peut que les fonds pour la conception soient disponibles l'an prochain, et les travaux débuteraient au milieu des années 80. L'école élémentaire existante est munie d'une fosse septique avec puits d'infiltration; normalement, l'installation ne fonctionne pas pendant une grande partie de l'année. Le sol étant surtout constitué de limon, l'eau ne peut s'écouler et revient à la surface au-delà du puits d'infiltration, ce qui constitue un danger pour la santé publique. Ce système devra être reconstruit ou remplacé. À plusieurs reprises, les élèves et les enseignants ont dû utiliser des toilettes portatives (seaux hygiéniques), pendant des périodes allant jusqu'à deux semaines, lorsque la fosse était défectueuse et que son contenu était refoulé.

**B.2 — Sélection des options de conception.** — Une fois les données fondamentales établies, on sélectionne les options qui sont applicables. C'est à partir de données retenues au cours de la première étape du processus méthodologique que doit se faire le choix entre les diverses options relatives aux murs, aux toits, aux systèmes mécaniques, etc.

<sup>1</sup> Les unités de mesure sont telles que les auteurs les ont exprimées.

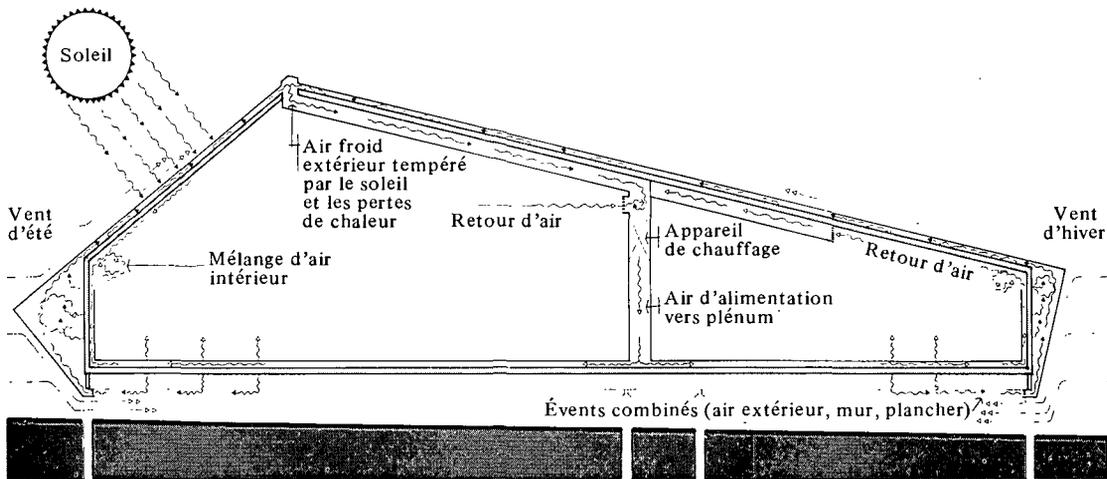


Coupe AA du bâtiment

Schéma A

0 pi 5 pi

École secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé  
de conception)  
Coupe du bâtiment  
B-1-76  
n° 5



Coupe du bâtiment : influence du milieu

0 pi 5 pi

École secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé  
de conception)  
Influence du milieu  
n° 6

On a sélectionné les options pour le prototype d'école secondaire de Kuchpu (Alaska) en suivant la formule employée dans les sections 4 à 9 du volume I. On a indiqué les données requises pour chaque option de conception adoptée, afin de faciliter la compréhension (justification et évaluation) du processus de décision impliqué.

#### 4 Options du plan de construction pour les écoles secondaires

4.2 11 à 20 élèves. — Puisqu'il n'existait pas véritablement un village, avec élèves et enseignants, qui permette d'établir les besoins en matière de locaux, on a utilisé les données du volume, section 4.2 ("Options de conception du programme de construction"), l'option principale étant un concept de "plan ouvert" (voir examen des données fondamentales, section 1.1.3).

#### 5 Options en matière de sécurité et de salubrité des bâtiments

##### 5.1 Protection contre le vandalisme

Options de génie civil. — En raison des données relatives aux inondations, à l'amoncellement des neiges et au pergélisol, le bâtiment doit être surélevé au-dessus du sol et le plancher doit être isolé. On doit se prémunir contre les actes de vandalisme visant cette partie des bâtiments (incendie ou détérioration de l'isolant).

Les options, assurant une protection minimale à maximale, comprennent les mesures suivantes : 1) un revêtement posé sous le plancher et composé de contre-plaqué, ou de panneaux extérieurs de gypse de 1/2 po si on tient compte de considérations de sécurité; 2) un grillage ou un autre type de chemisage ventilé : le grillage gêne l'accès sous le bâtiment; il empêche aussi les gens de stocker des matériaux à cet endroit, ce qui pourrait occasionner un incendie ou faire obstacle au passage d'air nécessaire à la préservation du pergélisol.

Option retenue. — Un grillage galvanisé, car le revêtement de panneaux de gypse est vulnérable aux actes de vandalisme.

#### 6 Options de services publics sur le site de l'école

##### 6.1 Évacuations des eaux usées

6.2.1 Options d'évacuation. — Première option : construire une fosse septique avec remblai d'infiltration. On aurait besoin d'une qualité suffisante de gravier et de sable, ce qui serait coûteux, la carrière de gravier se trouvant loin du village.

Autre option. — Une petite installation d'épuration intégrée au bâtiment pourrait assurer le recyclage des eaux grises, mais on se heurterait à un problème d'espace, car il faudrait également prévoir le traitement de l'eau potable. Même avec une installation de traitement, il faudrait prévoir un système d'élimination des effluents par un champ d'infiltration ou par lagunage, à condition bien sûr qu'on dispose du terrain nécessaire.

Option retenue. — Un étang de lagunage, qui sera aménagé sur un terrain à proximité de la nouvelle école.

#### 7 Options du plan d'ensemble pour la construction

##### 7.1 Planification du développement

Compte tenu des options liées à la planification du développement (volume I), le propriétaire a retenu une construction modulaire intégrant des modifications (voir section 7.1.1.3). Le district scolaire n'est pas en mesure d'intéresser d'autres organismes publics à son programme de construction, pour fonder un centre communautaire d'éducation et de services.

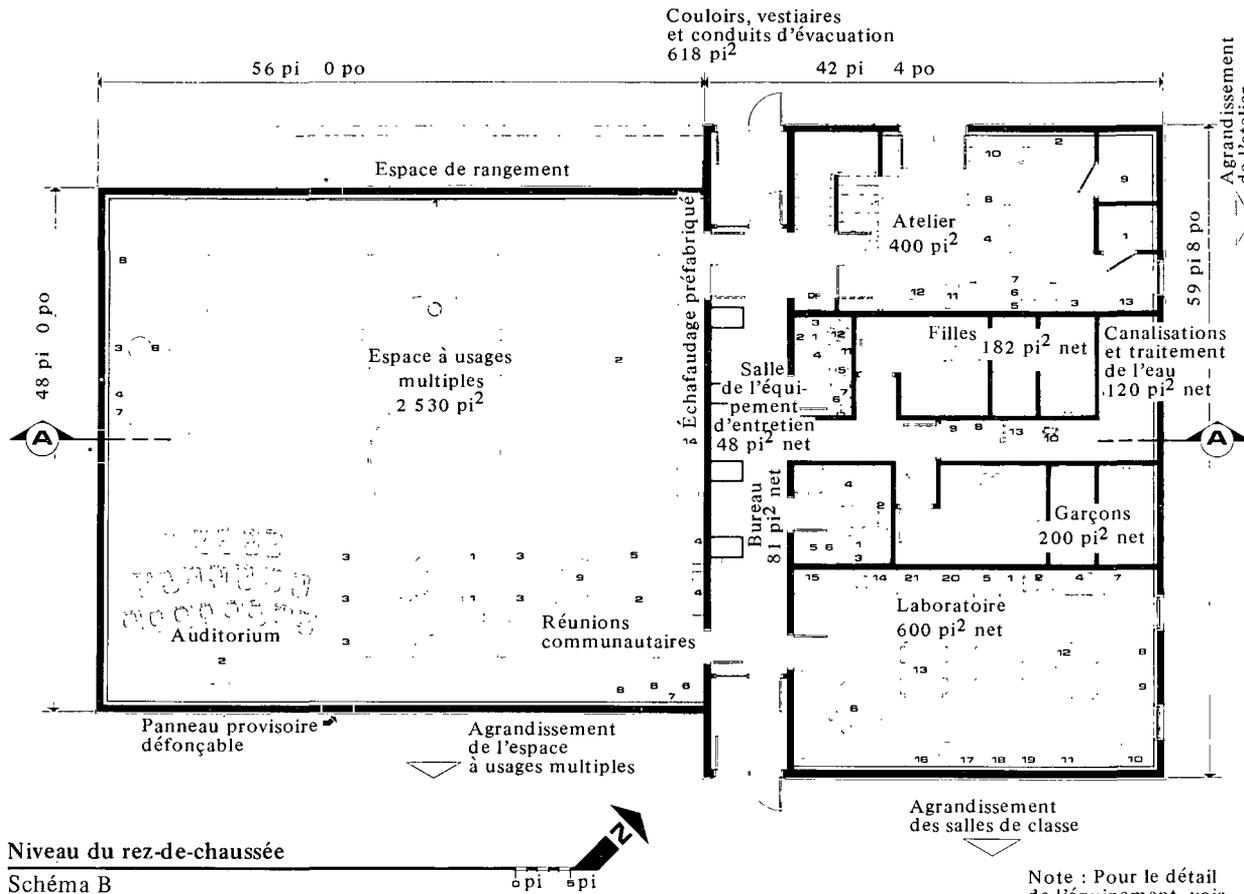
La croissance du village est très limitée, mais on pense que les effectifs scolaires augmenteront à mesure que les familles et les enfants prendront conscience de l'importance de la scolarisation et de la commodité de la nouvelle installation (jusqu' alors, les élèves du secondaire fréquentaient les pensionnats régionaux).

Le district scolaire a opté pour le principe du plan ouvert, mais au village on craint qu'en dépit des efforts de l'ingénieur-architecte, il soit problématique de tenir les classes dans une salle d'usage général. De plus, on pense que la salle à usages multiples est trop petite, puisqu'elle devra servir à la fois à l'école élémentaire et à la collectivité. Par conséquent, les représentants du village et du district scolaire souhaitent que le plan directeur comprenne des dispositifs pour l'agrandissement de la salle d'usage général, l'addition d'une salle de classe séparée et d'une aire de ressources, et un agrandissement de l'atelier.

#### 8 Options relatives au revêtement et à la structure des bâtiments

8.4.2 Planchers. — Le propriétaire a soulevé le problème des planchers froids, une préoccupation constante dans l'Arctique. Il a demandé que l'ingénieur-architecte tente une fois de plus de résoudre ce problème, en respectant les exigences des codes. À titre d'illustration, nous répondons ci-dessous à notre propriétaire fictif.

Il arrive souvent que les architectes travaillent en collaboration avec le commissaire des incendies, comme dans le cas cité. Les options présentées comme systèmes de planchers n° 1, n° 2 et n° 3 dans l'"Analyse de pro-

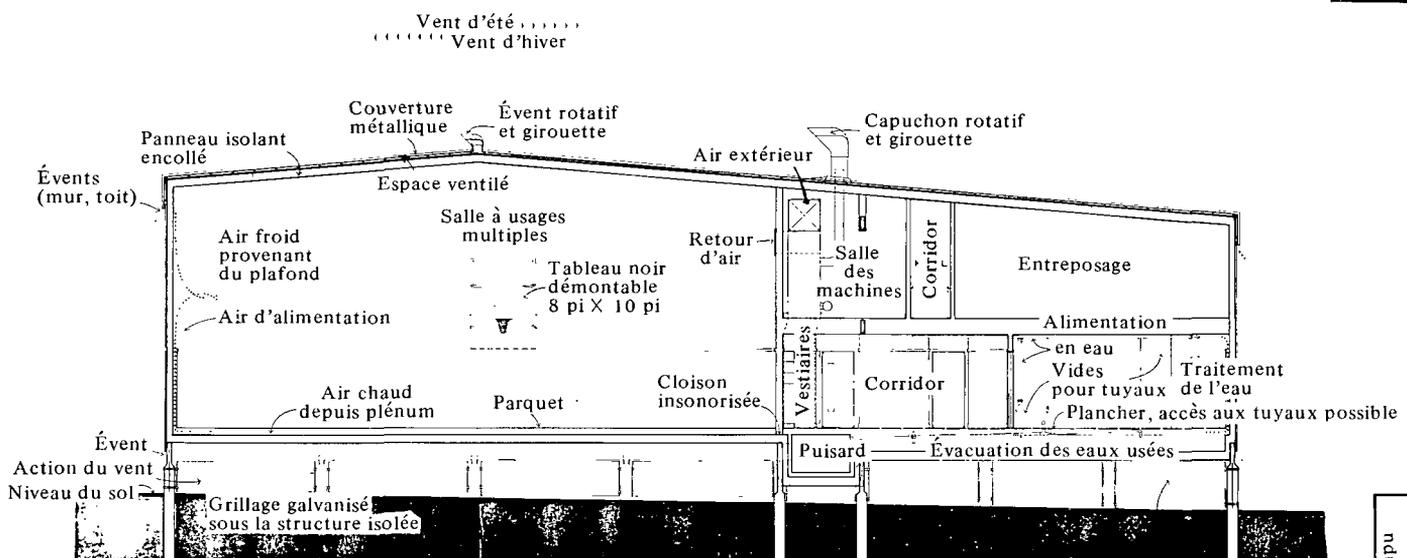


Niveau du rez-de-chaussée

Schéma B

Note : Pour le détail de l'équipement, voir plans de la partie 1, section 4.23

Ecole secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé de conception)  
Rez-de-chaussée-Plan B B-17B  
no 7



Coupe AA du bâtiment

Schéma B

Ecole secondaire de Kuchpu  
(exemple d'un procédé de conception)  
Coupe du bâtiment B-17B  
no 8

totypes d'écoles rurales" de l'État de l'Alaska ont été déclarées inacceptables, en tant que plénums, par le commissaire des incendies. On a demandé à celui-ci si l'emploi d'un bois ignifugé l'amènerait à modifier son évaluation; sa réponse a été négative, car le bois ignifugé est traité au sel : l'infiltration d'air finirait par éliminer toute trace de sel. La seule option restante dans l'État était celle du système de planchers n° 1 (figure 8.10), qui consiste à construire une ossature profonde avec une bonne épaisseur d'isolant pour relever la température de la surface intérieure du plancher (solution la plus courante et la plus efficace qui soit utilisée à l'heure actuelle).

Toutefois, suite à des travaux de recherche et de mise au point, on a envisagé un système de planchers en panneaux comprenant à la fois une protection structurale et un plénum non combustible. Ce système a été soumis au commissaire des incendies de l'État, qui a semblé très intéressé et a proposé d'envoyer les plans à l'ICBO pour les faire approuver. Si la réponse de l'ICBO est positive, c'est cette option qui sera appliquée et tout le système de planchers deviendra un plénum d'air de chauffage et de ventilation sous pression. Dans le cas contraire, on retiendra l'option de la partie I "système de planchers n° 1" (figure 8.10), et l'ingénieur en mécanique prévoira des tuyaux de chauffage périphérique le long des murs au niveau du plancher.

#### 9 Options relatives aux services

9.2 Système de ventilation. — Le total minimum d'air aspiré de l'extérieur pour la ventilation s'élève à 850 pi<sup>3</sup>/mn. Le total de l'air en circulation pour la ventilation est de 4 250 pi<sup>3</sup>/mn.

Air évacué des toilettes (garçons)	200 pi <sup>3</sup> /mn
Air évacué des toilettes (filles)	180 pi <sup>3</sup> /mn
Salle d'entretien	50 pi <sup>3</sup> /mn
Salle de traitement de l'eau	100 pi <sup>3</sup> /mn
Total d'air évacué (taux fixe)	530 pi <sup>3</sup> /mn

#### Refolements spéciaux (interrupteurs séparés) :

Hotte de laboratoire (de type air d'appoint)	400 pi <sup>3</sup> /mn
Hotte de l'école ménagère	200 pi <sup>3</sup> /mn
Cabine de soudage	200 pi <sup>3</sup> /mn
Salle de finition	200 pi <sup>3</sup> /mn

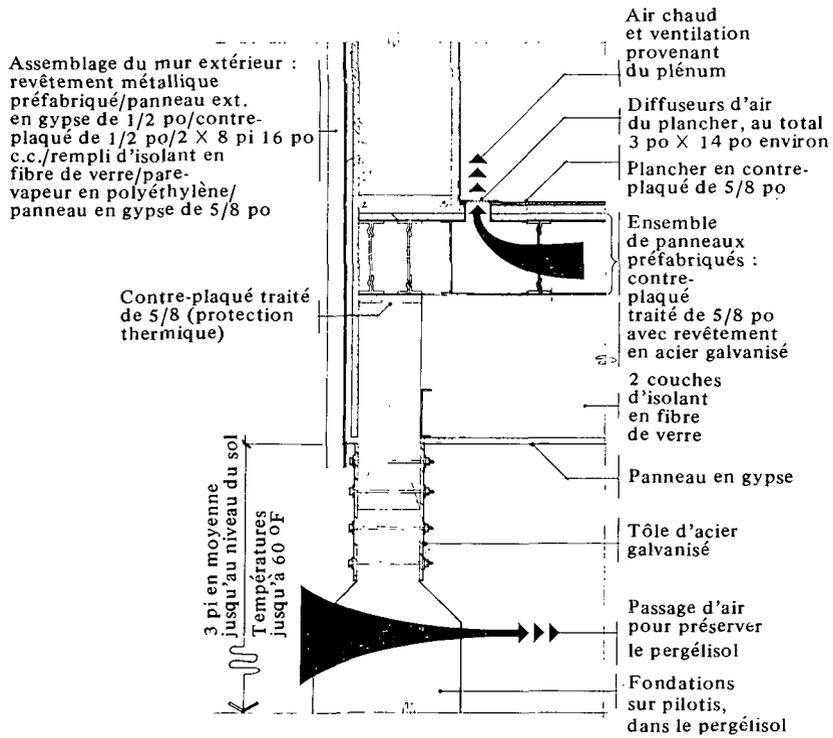
Le système conjugué de chauffage et de ventilation permettra un taux fixe d'évacuation minimum de 530 pi<sup>3</sup>/mn sur les 850 pi<sup>3</sup>/mn d'air extérieur introduit à -40 °F. Pour une température moyenne hivernale de -6 °F et un déterminant conceptuel de 2,12, le volume d'air de l'extérieur pourra donc atteindre 1 950 pi<sup>3</sup>/mn, ce qui permet le fonctionnement de tous les systèmes d'évacuation du bâtiment à 1 530 pi<sup>3</sup>/mn sans que le bâtiment accuse une pression négative par rapport à l'extérieur. Les 420 pi<sup>3</sup>/mn restants assureront une pression positive à l'intérieur du bâtiment.

Le système d'évacuation sera équipé d'un ventilateur d'extraction d'air commun. Pour les refolements spéciaux, on a prévu des ventilateurs individuels à interrupteur manuel.

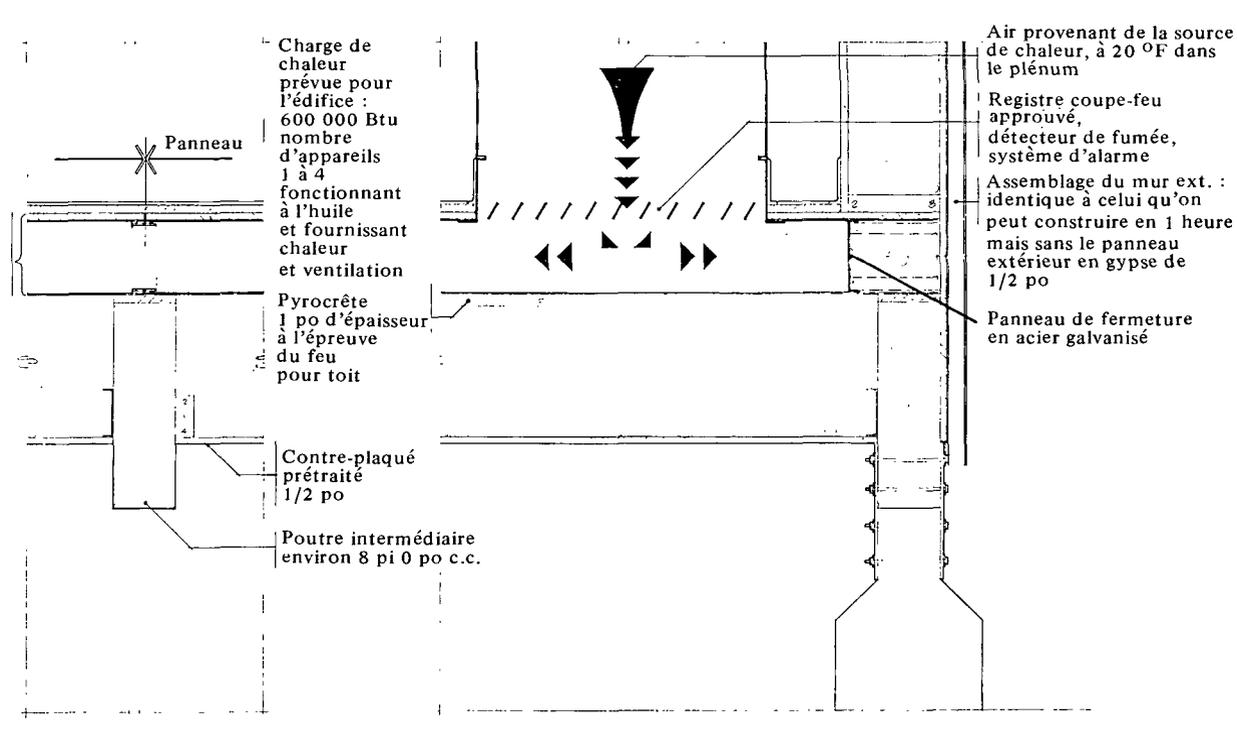
## CONCLUSION

Nous ne présentons pas une panacée pour toutes les difficultés architecturales des écoles de l'Alaska rural, plutôt un guide de conception rédigé à l'intention des architectes, ingénieurs, des représentants des districts scolaires et des fonctionnaires de l'État.

Le point central de ce rapport était la planification des besoins futurs car bien ou mal conçues, les écoles rurales sont appelées à durer longtemps. Plus on étudie soigneusement chaque possibilité, et moins on doit regarder en arrière, regrettant ne pas avoir tout prévu. Après tout, si on n'a pas dès le début d'une entreprise le temps, l'argent et la volonté de bien faire les choses, comment espérer trouver tout cela par la suite?



① Plancher et mur extérieur  
Type 5 construit en 1 heure  
Échelle : 3 po = 1 pi 0 po



② Plancher et poutre intermédiaire  
Échelle : 3 po = 1 pi 0 po

③ Plancher et mur extérieur  
Type 5N construit en 1 heure  
Échelle : 3 po = 1 pi 0 po

## NEUVIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### SYSTÈMES MODIFIÉS D'ÉGOUT COMMUN À BASSE PRESSION

K.W. McAmmond  
Service de santé de Sturgeon  
St. Albert (Alberta)

Le problème de l'assainissement des eaux usées des établissements humains préoccupe depuis longtemps la Direction de l'inspection de la plomberie, au ministère du Travail, ainsi que les inspecteurs de la Santé publique. Le rejet de ces eaux usées dans des étangs superficiels cotoyant les endroits habités et dans des rigoles ou des cours d'eau, auxquels les enfants, les animaux domestiques ou sauvages ont aisément accès, est une source d'inquiétude. Souvent, on trouve des jouets d'enfants, des bâtons de hockey, des balles, des frisbees, etc., dans les eaux usées. Il arrive aussi que les chiens boivent les effluents d'égout; quand ils rentrent ensuite à la maison, ils jouent avec les enfants et leur lèchent la figure.

#### SOURCE DU PROBLÈME

Ce problème se pose dans les zones rurales, où les installations de rejet des eaux-vannes sont généralement inadéquates, quand il n'existe pas de réseau d'égout. Les techniques d'évacuation les plus courantes sont les suivantes :

- 1) Aire d'infiltration. – Une canalisation perforée achemine les eaux-vannes vers le sous-sol, où elles disparaissent par absorption.
- 2) Remblai d'évaporation. – Dans les zones où la nappe phréatique est haute ou le sol peu poreux, on pompe les effluents sur un remblai plus élevé que le milieu environnant. Les eaux-vannes s'évaporent en partie ou sont absorbées par le sol.
- 3) Réservoirs. – On utilise parfois des réservoirs pour stocker les eaux-vannes, que l'on vide ensuite dans un étang de lagunage ou une décharge où le rejet des eaux usées est autorisé.

#### NATURE DU PROBLÈME

- 1) Les aires d'infiltration ou les fosses septiques sont souvent mal entretenues et les eaux d'égout débordent.
- 2) Les remblais d'évaporation sont mal construits ou mal entretenus, et les effluents se répandent sur le terrain environnant.
- 3) Après avoir pompé le contenu des réservoirs de stockage, les véhicules le déversent à l'endroit le plus commode (dans les fossés le long des routes, par exemple).

#### POURQUOI CE PROBLÈME?

Si le public ne se révolte pas devant la situation, c'est qu'il en ignore la gravité. Le problème est sérieux en Alberta, et il est particulièrement grave dans les villages en expansion ou les lotissements à la campagne, où les habitants acquièrent des laveuses automatiques et des lave-vaisselle, des douches et des toilettes – ce qui augmente le volume d'eau consommée et donc le volume d'effluents. Le problème existe parce que la population n'est pas consciente des dangers. Trop souvent, les résidents se contentent de penser : "L'eau a été traitée; elle passe par la fosse septique, où est le danger?" Ou encore : "Ce n'est que de l'eau, après tout."

#### CERTAINS DES DANGERS

Transmission directe de maladies par contagion, par des poussières séchées, des organismes porteurs de maladies, des insectes, ou l'eau de puits et de rivières polluées. Odeurs désagréables provenant des zones de décharge et dangers pour la circulation automobile en cas de gel des passages d'eau. Tous ces problèmes résultent d'une mauvaise installation et d'un mauvais entretien des installations, ainsi que d'une inspection inadéquate. Le coût des réservoirs de stockage et des services de pompage des eaux-vannes étant élevé, les habitants déversent les effluents à la surface du sol, à proximité de l'endroit où ils vivent ou travaillent.

## QUE FAIRE?

Le problème est beaucoup plus sérieux qu'on ne l'imagine. Les inspecteurs de la santé, qui sont chargés de vérifier l'état des installations en cas de difficultés, ne peuvent le régler, car on ne peut appliquer aucun règlement en vertu de la Loi sur la santé publique, ni engager aucune procédure officielle concernant le mauvais fonctionnement des systèmes d'égout. Les propriétaires de terrains ou de maisons en zone rurale ont parfois de mauvaises surprises : ils découvrent un jour que le système d'égout dont est équipée leur propriété ne fonctionne pas bien, alors qu'ils l'estimaient de bonne qualité. Un second problème se présente alors : bien que l'inspecteur de la plomberie ait déclaré l'installation correcte, le représentant du ministère de la Santé affirme : "Le système fonctionne mal, les eaux débordent sur le sol; il faut donc remplacer le système."

## SOLUTIONS PROPOSÉES

Partout où les conditions s'y prêtent, nous suggérons d'installer un réseau commun modifié d'égout à basse pression. Ce système, qui peut remplacer les systèmes individuels d'évacuation des eaux-vannes, est composé d'un réseau de canalisations en plastique et d'un petit étang de stabilisation. Il est utilisé en Alberta depuis 1975, et depuis 14 ou 15 ans en Saskatchewan. Le système, qui est au point, permet une évacuation sûre et économique des eaux-vannes dans les hameaux, les banlieues et les lotissements de campagne.

## LE SYSTÈME MODIFIÉ D'ÉLIMINATION DES EAUX USÉES

Le système comprend des fosses septiques, des pompes à égout à commande automatique et des canalisations en plastique. Une fosse septique à deux compartiments est installée dans chaque maison servie par le réseau commun. Les eaux-vannes brutes s'écoulent par gravité dans la fosse septique et les solides se déposent dans le premier compartiment, où ils se transforment en liquides, gaz, écumes et boues. Les liquides se séparent des boues et s'écoulent ensuite dans le second compartiment, d'où ils sont expulsés par une pompe à commande automatique (installée au sous-sol de préférence). Le modèle standard de pompe à égout (1/3 ou 1/2 HP), est activé par une commande automatique placée dans la seconde chambre de la fosse septique. Quand la fosse est pleine, l'effluent est pompé vers l'extérieur le long d'une canalisation en plastique de 32 ou 38 mm, enfouie dans le sol à 2,4 m au moins de profondeur. Cette canalisation est raccordée à une canalisation principale de plus grand diamètre, posée à une profondeur de 2,7 à 3,7 m le long de la route ou de l'allée. Les effluents sont acheminés le long de la canalisation principale jusqu'à l'étang de stabilisation, à l'extérieur du village.

On utilise le plus souvent des fosses septiques préfabriquées en béton, qui conviennent généralement bien au système. Il arrive fréquemment qu'on puisse utiliser les fosses déjà en place; il suffit alors d'installer les pompes et la robinetterie nécessaires.

**Pompes à égout et système de commande.** — Les pompes servent à acheminer les effluents des fosses septiques vers l'étang de stabilisation. Chacune est activée par une commande de niveau placée dans le compartiment à vidanger. Un clapet de retenue, un raccord et un robinet-vanne sont placés sur la canalisation d'évacuation. Le clapet de retenue empêche le refoulement des eaux-vannes dans la canalisation principale. Le robinet-vanne sert à arrêter l'écoulement; on enlève le raccord quand on doit réparer ou remplacer la pompe sans interrompre le fonctionnement du réseau municipal. L'expérience montre qu'une pompe à égout doit fonctionner de 3 à 5 minutes en temps normal pour évacuer une décharge d'eaux-vannes. Dans une localité comprenant 40 branchements, très peu de pompes fonctionnent simultanément à un moment donné. Si deux ou trois pompes fonctionnent ensemble, la période de pompage peut se prolonger jusqu'à 5 ou 6 minutes. Naturellement, le clapet de retenue empêche les effluents d'être refoulés dans la fosse septique, sous l'effet de la pression créée par les autres pompes.

**Canalisations maîtresses.** — Les canalisations principales sont généralement des tuyaux en plastique (chlorure de polyvinyle ou polyéthylène) de 50 mm de diamètre. Dans les villages du Nord, on utilise généralement des tuyaux isolés. On se sert de tuyaux de plus grand diamètre, 76 ou 100 mm, pour les collecteurs qui recueillent les eaux-vannes de plusieurs canalisations maîtresses. Une précaution s'impose ici : plus le diamètre du tuyau est petit, plus le curage est efficace; par contre, quand le diamètre est grand, le mouvement des eaux-vannes est lent, ce qui peut provoquer un dépôt dans le tuyau. Cependant, après examen de sections de canalisations enfouies depuis dix ans, on a constaté qu'il n'y avait aucune trace de dépôt dans les zones où l'écoulement est lent.

Tous les joints souterrains doivent être faits avec des raccords en plastique et des brides en acier inoxydable ou soudés par fusion. Dans cette région de l'Alberta, on doit enfouir les canalisations maîtresses à au moins 2,7 m de profondeur, pour les protéger du gel. Les canalisations d'égout doivent être séparées des canalisations d'eau; là où les canalisations d'eau et d'égout se croisent, certains règlements du ministère de l'Environnement doivent être respectés.

L'expérience montre qu'un tuyau de 50 mm de diamètre peut servir jusqu'à 40 branchements résidentiels ou commerciaux. Pour servir un plus grand nombre de maisons, on peut poser côte à côte deux canalisations de 50 mm ou une canalisation de 76 mm. L'emplacement de l'étang de stabilisation est important : le plan d'eau doit être situé à environ 600 m du village et à 300 m au moins de l'habitation la plus proche. Il est préférable que l'étang soit aménagé au même niveau ou un peu plus haut que le village, pour éviter un effet de siphon provoqué par l'effluent des fosses septiques. Une fois qu'on a choisi le site de l'étang, il est bon de planifier une éventuelle expansion du système. Cette question relève du ministère de l'Environnement. Les normes concernant l'emplacement, l'aménagement et l'exploitation des étangs de stabilisation sont quelque peu différentes dans le cas de notre système puisque les effluents qu'on y déverse ont déjà été traités (élimination des solides) dans la fosse septique.

L'une des premières questions qu'on se pose sur le fonctionnement du système est la suivante : "Est-ce qu'il y a des problèmes de pompes défectueuses, de blocage des fosses septiques, d'obstruction des canalisations, etc.?" Dans les localités où ce système a été implanté et où les fosses septiques sont pompées tous les deux ans, il n'y a pas eu de problèmes particuliers de blocage ou d'accumulation des solides dans les tuyaux. Les coûts d'exploitation des pompes, à la charge des particuliers n'ont posé aucune difficulté. On avait recommandé d'installer les unités de pompage au sous-sol des habitations, à la fois pour faciliter l'entretien de la pompe et parce que le système nécessite un robinet-vanne et un clapet de retenue. Les usagers ont parfois utilisé des pompes immergées; mais les robinets-vannes et les clapets de retenue sont alors installés dans un milieu hautement corrosif, généralement dans le regard de service juste au-dessus de la fosse septique.

#### **QUELS SONT LES AVANTAGES DE CE SYSTÈME?**

- 1) Évacuation hygiénique des égouts; protection de l'environnement et des résidants.
- 2) Évacuation sûre de l'eau d'infiltration souterraine.
- 3) Maintien de la population et essor des hameaux et lotissements.
- 4) Hausse de la valeur des propriétés.
- 5) Augmentation du revenu provenant des impôts, consécutive à une expansion de la localité et à une hausse de l'évaluation des propriétés.
- 6) Diminution du gonflement relié au gel, en raison d'une baisse de l'excès d'eau dans le sol de surface.
- 7) Sûreté des puits de la région.
- 8) Abaissement de la nappe phréatique dans les régions où les eaux d'égout ont été déversées à la surface du sol, dans des remblais ou des aires d'infiltration (cas des hameaux), ce qui souvent permet d'éliminer les pompes d'assèchement du sous-sol. C'est là un avantage inespéré du système.

#### **DONNÉES LES PLUS RÉCENTES SUR LES RÉSEAUX À BASSE PRESSION**

L'estimation des coûts la plus récente que nous possédions se rapporte au hameau de Busby, dans le district municipal de Westlock, à environ 72 km au nord-ouest d'Edmonton. L'étang de stabilisation se trouve à 800 m du hameau, le réseau compte 30 branchements et le coût estimé du système est de \$110 900. La municipalité se charge de la construction; l'excavation du sol, la pose des tuyaux, etc., sont confiées à des entrepreneurs. L'agent des services publics responsable du projet estime qu'en définitive, le réseau coûtera moins cher que prévu.

Certains villages construisent un réseau d'adduction d'eau comprenant un puits, un réservoir et un système de pompage parallèlement au réseau d'égouts. Certains de ces systèmes satisfont aux exigences du débit d'eau en cas d'incendie; d'autres, non. À Busby on a opté pour un réseau de distribution et deux puits situés à 1 280 m du hameau et reliés à un réservoir de stockage par une canalisation de 50 mm; des canalisations maîtresses de 150 mm assurent le débit d'eau en cas d'incendie. On ignore quelles sont au juste les dimensions du réservoir et la capacité de pompage, mais il est certain qu'elles suffisent pour les besoins de la lutte contre l'incendie.

Le coût s'est élevé à \$173 313; il inclut le coût des terres, des passages à niveaux, des travaux de génie, de la construction et la supervision des travaux de construction – jusqu'au dispositif d'arrêt de chacune des 80 canalisations de branchement. Chaque propriété est dotée de deux dispositifs d'arrêt : l'un pour l'eau; l'autre, pour les égouts.

La compagnie Podmore Engineering m'a fourni des études techniques, pour lesquelles je tiens à la remercier, et que j'ai jointes à mon exposé. On peut y examiner en détail la fosse septique, le système de pompage, les robinets-vannes, les clapets de retenue et les raccords, les canalisations d'aspiration et d'évacuation, les dispositifs d'arrêt et le collecteur principal raccordé à l'étang de stabilisation.

Vous vous demandez peut-être comment j'en suis venu à m'intéresser à la question. C'est que, en tant que plombier, j'ai travaillé à l'installation de certains de ces systèmes en Saskatchewan, avant de venir en Alberta en 1966. L'évacuation des égouts pose des problèmes d'hygiène dans la région où je me suis installé, car les sols sont argileux. Il fallait trouver une solution et j'ai été l'un des premiers à proposer ce type de système.

Je veux remercier pour leur collaboration le ministère de l'Environnement et les services de génie civil qui ont mis au point les réseaux d'égout à basse pression, remédiant ainsi à beaucoup de problèmes dans le secteur de Sturgeon et dans la province tout entière. Cinq systèmes de ce type sont en service dans le secteur de Sturgeon; deux autres sont en construction. Un grand nombre des difficultés et des dangers causés par l'évacuation des eaux-vannes a maintenant disparu.

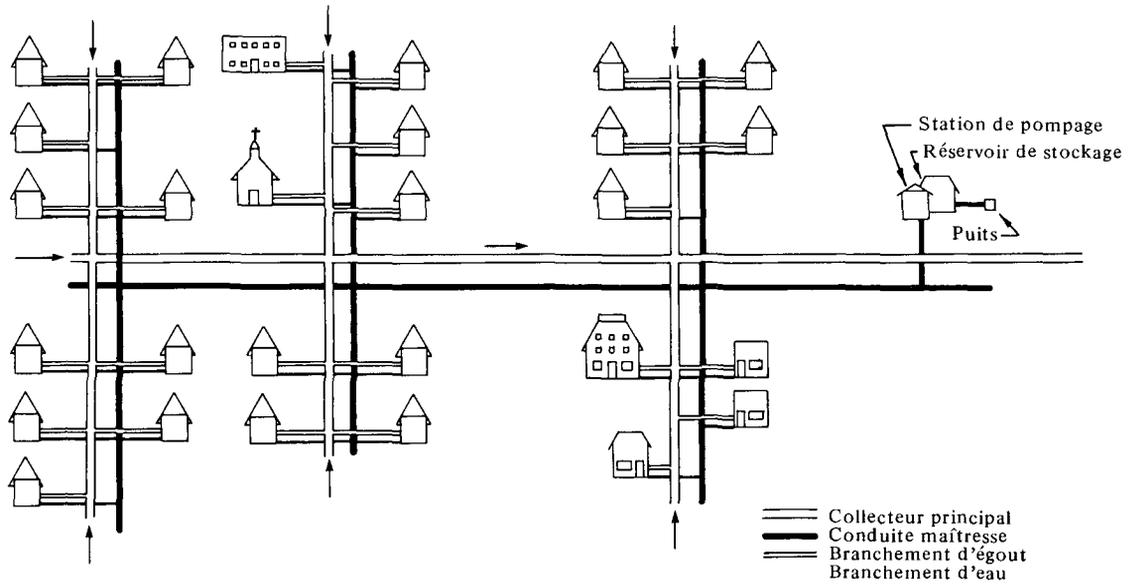


Figure 1 Collecte des eaux d'égout et distribution d'eau : canalisations maîtresses et canalisations de branchement

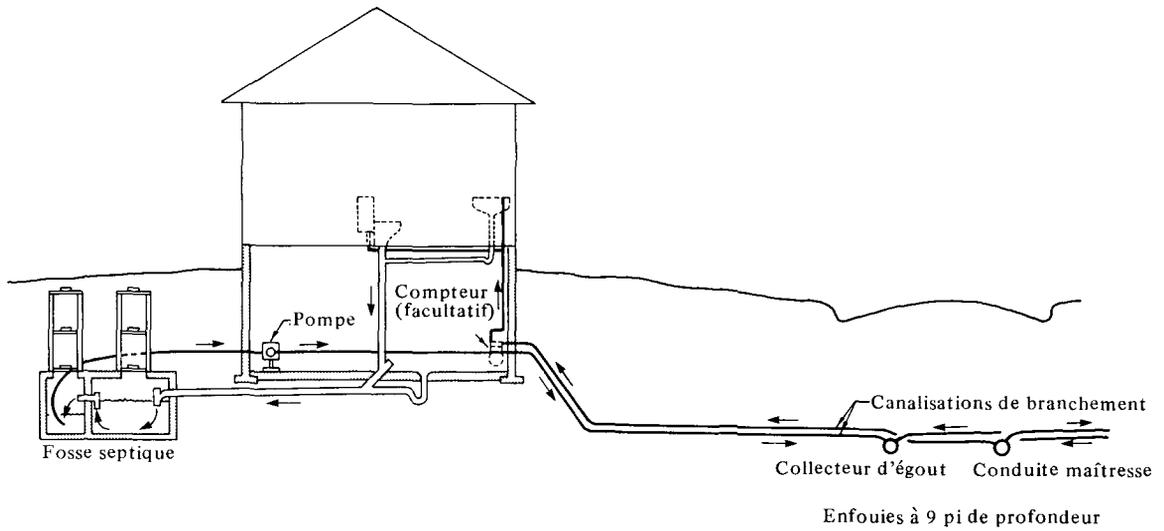


Figure 2 Raccordement à un réseau à basse pression

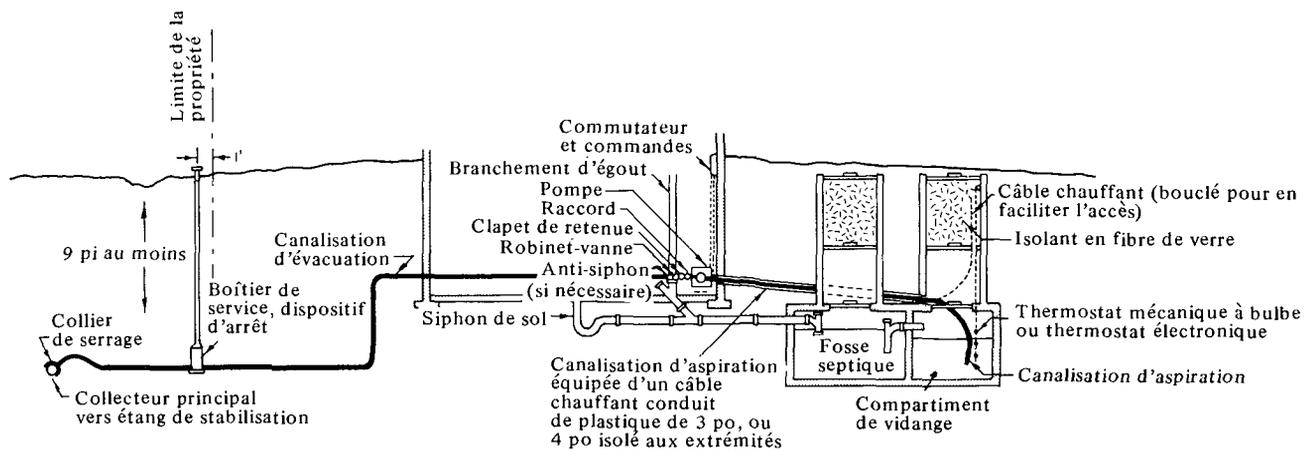


Figure 3 Principe du réseau à basse pression

## NEUVIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### SERVICES D'EAU ET D'ÉGOUT À BARROW (ALASKA)

Loren D. Leman  
CH2M HILL  
Anchorage (Alaska)

#### INTRODUCTION

**Portée.** — En avril 1978, la municipalité de North Slope a autorisé la préparation d'une étude technique préliminaire en vue de concevoir un réseau de services publics à Barrow. L'objectif était de fournir un service d'eau et d'égout et de considérer d'autres services comme le gaz, l'électricité, le téléphone et la télévision, pour les résidences et lieux de travail présents et futurs. À cette fin, on a analysé la faisabilité de différents systèmes et on a rassemblé des renseignements préliminaires de conception, à l'intention de la municipalité de North Slope et de la Environmental Health Branch (Direction de la santé environnementale), U.S. Department of Health, Education and Welfare (plus communément appelé Public Health Service ou PHS).

Des services techniques supplémentaires ont fourni des données topographiques pour les cartes hypsométriques, des photographies aériennes, ainsi que des indications sur l'emplacement horizontal et vertical de chaque bâtiment. On a également dirigé des études de sols, lesquelles comprenaient une étude électromagnétique, l'examen des conditions souterraines sur des axes proposés, le repérage de sources potentielles de gravier pour environ 150 000 verges cubes de remblai de gravier et l'installation de puits de surveillance des températures du sol à des endroits choisis.

**Historique.** — La ville de Barrow n'est pas dotée d'un service généralisé d'eau et d'égout. Seules certaines parties de la ville ont un tel service. Une étude, faite en 1972 (1), recommandait pour Barrow un réseau d'utilidors qui soient tous installés au-dessus du sol. Depuis, la municipalité a décidé d'examiner d'autres possibilités en considérant davantage les besoins physiques, esthétiques et sociaux, et moins les questions économiques. La compagnie CH2M HILL a donc été chargée d'étudier de nouvelles solutions, dont des systèmes combinés. Pour cela, elle a fait appel à l'expérience antérieure de CH2M HILL/PHS à Nome (Alaska), où on a installé avec succès des réseaux d'utilidors souterrains à passage libre dans une région de pergélisol (2).

#### CONDITIONS ACTUELLES

**La localité.** — Barrow est située à 1 km au sud-ouest de la limite septentrionale de l'Alaska (Point Barrow), sur la côte de la mer des Tchoukches (voir carte régionale, figure 1). La population de Barrow était de 2 700 en 1970. Les prévisions indiquent qu'en l'an 2 000 cette région aura 4 700 résidants, dont 300 à l'installation avoisinante du Laboratoire de recherches arctiques de la Marine (Naval Arctic Research Laboratory). Barrow est donc la plus grande localité de l'Alaska qui ne soit pas équipée d'un système de canalisations d'eau et d'égout.

La plupart des terrains au centre de Barrow ont été aménagés selon une étude de 1964 (3), qui répondait aux souhaits exprimés par la collectivité. À Browerville, zone rattachée à Barrow et où de nouvelles constructions sont en cours, l'aménagement suit un modèle en treillis, avec des terrains plus grands. Un nouveau lotissement, appelé Bloc A, est proposé pour Barrow, mais il n'a pas été exploité encore.

Les routes ne sont pas goudronnées mais simplement recouvertes de gravier. En général, la couche supérieure des routes (0,2 à 0,3 m) possède un liant suffisant pour limiter la formation d'ornières et la carrossabilité est bonne la majeure partie de l'année. Le remblai de gravier, d'une épaisseur de 0,91 à 1,5 m, est posé directement sur la toundra.

**Services publics.** — Le réseau de canalisations existant alimente l'école du Bureau of Indian Affairs (BIA), une nouvelle école secondaire et l'hôpital du PHS. Les autres bâtiments sont approvisionnés par camions-citernes. Les résidants utilisent aussi la glace et un point d'eau central pour se ravitailler en eau. En 1977, le PHS a construit un barrage, une prise d'eau et un réservoir de stockage de 600 000 gallons (avec point d'eau, chloration, fluoration et filtrage).

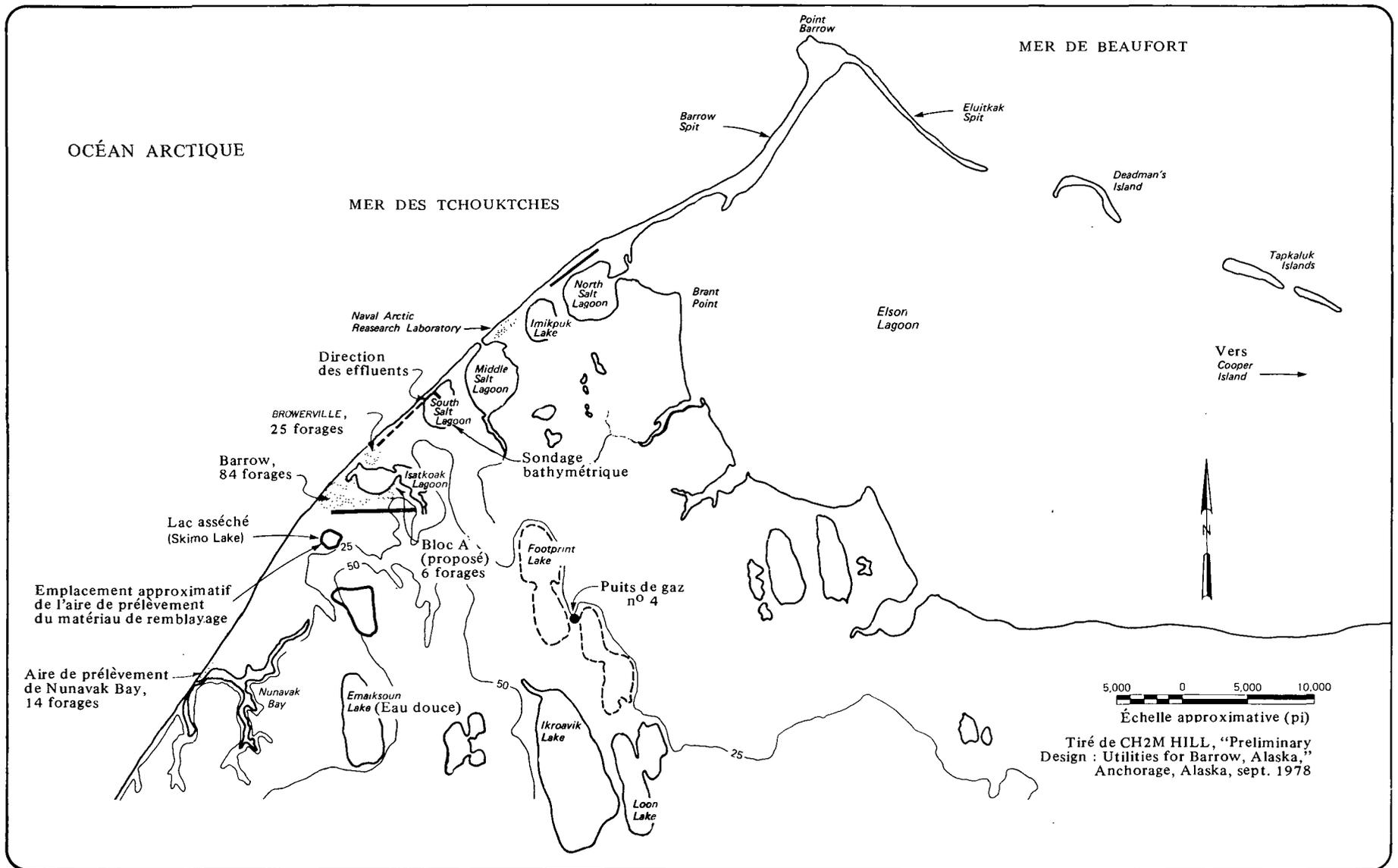


Figure 1 Carte de la région de Barrow

L'hôpital, les écoles et l'hôtel disposent d'un système de traitement des eaux usées. Les effluents sont acheminés vers une source avoisinante d'eau salée. Pour la collecte des eaux-vannes domestiques, on utilise des seaux hygiéniques, des fosses d'aisance et autres toilettes autonomes. En général, on collecte et transporte les eaux-vannes vers une décharge située à trois milles au nord de Barrow, près de la lagune South Salt.

Les déchets solides sont rejetés au même endroit. Un incinérateur, construit à proximité de la décharge, n'est pas utilisé à cause des frais élevés d'exploitation et d'entretien, entre autres difficultés.

La distribution de l'énergie électrique se fait généralement par câble aérien. Le chauffage des bâtiments publics, des établissements commerciaux et des maisons est assuré par des appareils fonctionnant au gaz (fourni par des puits locaux de gaz naturel). Les canalisations de distribution de gaz naturel sont posées au-dessus du sol sur des supports dits "temporaires". L'U.S. Army Corps of Engineers étudie des améliorations à apporter au système de gaz à Barrow, qui seront financées par le Bureau of Indian Affairs.

**Conditions géologiques et emplacement.** — Barrow est située sur la plaine côtière arctique, dans une province géologique limitée au nord par la mer de Beaufort, au sud par les contreforts de la chaîne de Brooks, et à l'ouest par la mer des Tchouktches (voir figure 1). Il y a eu plusieurs fluctuations du niveau de la mer le long de la plaine côtière arctique au cours de l'histoire géologique. Ces avances et retraits de la mer ont successivement immergé et exposé de grandes parties du versant nord. La plaine côtière arctique est couverte de dépôts non consolidés de la formation de Gubik, dépôts composés de lentilles et de mélanges de sable, de gravier, de limon et d'argile. Bien que cette formation soit d'origine marine, elle a été modifiée par les processus d'alluvionnement lacustre et éolien et les mouvements dus au gel.

La majeure partie de la région est couverte d'une mince couche de tourbe superficielle où croît une végétation de toundra très variée. De fines particules de limon chassées par le vent forment souvent un mince manteau, qui se lie aux couches de tourbe ou qui les sous-tend. Sous la végétation de toundra, les sols de la région de Barrow sont composés de limons sableux fins, d'argiles sableuses, de limons et de sables limoneux de granulométrie grosse ou moyenne.

Toute la plaine côtière arctique repose sur une zone de pergélisol. Dans la région de Barrow, le fond du pergélisol se trouve à une profondeur de 300 à 400 m. Les variations saisonnières de la température de l'air influencent la température du pergélisol jusqu'à une profondeur de 30 m environ, mais les variations que l'on doit considérer à des fins d'aménagement se produisent seulement dans les 12 m supérieurs. La teneur en glace peut atteindre 80 p. cent du volume total du sol dans la zone superficielle de 3 à 4,6 m où il existe des sols fins (limon par exemple).

À l'origine, la région de Barrow était une zone de toundra légèrement ondulée, où l'écoulement des eaux se faisait difficilement, et dont les hauteurs n'atteignaient guère que 7,6 m au-dessus du niveau moyen de la mer. Le terrain de la région présente de nombreuses configurations. La topographie naturelle des environs de Barrow est marquée par la présence de l'homme : chemins, maisons et sentiers. Dans les zones aménagées de la localité, la végétation est clairsemée et pauvre. Les surfaces de gravier sont nues et les surfaces naturelles restantes ont une végétation de toundra humide composée de mousses de sphaigne et d'herbes de marais. Bien que les conditions générales soient semblables dans l'ensemble de la localité, certaines zones présentent des polygones de glace différents.

La limite supérieure du sol gelé en permanence se situe généralement entre 0,46 et 1,37 m au-dessous de la surface. Dans les sols fins, recouverts de 0,15 m ou plus de mousse ou de matières organiques, la profondeur du dégel annuel est de 0,30 à 0,61 m. Dans des sols pierreux exposés, où l'écoulement des eaux est relativement bon, la profondeur du dégel peut normalement atteindre 1,07 à 1,22 m. Des sources de perturbation comme la circulation, la construction de routes et de bâtiments peuvent augmenter la profondeur du dégel.

## ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

On présume que le meilleur moyen de doter la localité d'un système coordonné de services serait d'installer de gros conduits calorifugés (utilidors). Ces conduits porteraient les canalisations principales de distribution et de collecte ainsi que les câbles électriques, partout dans la localité. Des conduits plus petits serviraient pour les branchements aux maisons et autres bâtiments. Un espace serait prévu dans les utilidors pour les lignes téléphoniques, électriques et les câbles de télévision. L'exploitation du système exigerait des installations auxiliaires dont des stations de relèvement, des générateurs auxiliaires, des pompes de recirculation et des pompes d'alimentation.

**Conditions climatiques.** — Barrow est une région quasi désertique, avec des précipitations annuelles de 114 mm seulement. Les températures restent en-dessous du point de congélation la majeure partie de l'année, le maximum quotidien ne dépassant 0 °C que 109 jours par an. La vitesse moyenne du vent est de 17,6 km par heure. Dans des cas extrêmes, on a enregistré des vents d'une vitesse de 80 km/h. La conception d'un réseau d'utilidors doit tenir compte de ces conditions; les constructions doivent pouvoir résister aux surcharges dues au vent et à la neige.

**Utilidors au-dessus du sol.** — Les techniques pour supporter les conduits et les structures connexes au-dessus du sol sont diverses : a) pilotis enfoncés dans le pergélisol; b) support direct sur un remblai de granulats et de boue; c) poteaux et semelles sur un remblai granuleux. Pour économiser les granulats, matériau rare, il est recommandé d'utiliser des pieux en bois ou des thermo-piliers. La construction d'ouvrages supportés par des pieux, dans les régions arctiques, est courante et bien documentée; nous ne traitons donc pas ici des questions géotechniques reliées à leur utilisation.

#### Utilidors souterrains

1) Profondeur d'enfouissement. — On recommande que l'utilidor soit enfoui sous le mollisol, entre 0,91 et 3,66 m de profondeur, et ce pour les raisons suivantes : a) la fréquence des poches d'eau salée augmente au-dessous de 3,66 m; b) un minimum de 0,91 m de matériau de fondation et de remblai doit être prévu pour protéger l'utilidor des dégâts causés par la circulation.

2) Analyse thermique. — La compatibilité d'un réseau d'utilidors souterrains avec le pergélisol environnant est d'une extrême importance. Peu de projets antérieurs ont fait appel à des conduits de grand diamètre enfouis dans le pergélisol. Une isolation thermique suffisante doit être prévue pour réduire le dégel du pergélisol. Un utilidor froid, avec des tuyaux intérieurs isolés, nécessite un système séparé pour chauffer la canalisation d'égout (utilisant probablement la vapeur ou le glycol). Comme on visait la plus grande simplicité dans la solution finale, cette option a été éliminée en faveur d'un utilidor calorifugé où la conduite d'eau chaude chauffe aussi l'utilidor.

La position de l'isotherme de 0 °C autour du conduit est calculée en fonction d'hypothèses modérées quant à la chaleur propre des sols, la conductivité thermique, la profondeur du mollisol naturel, la profondeur de la couverture et la température de l'utilidor. Cette analyse initiale a fait ressortir le besoin d'un supplément d'isolant, soit autour du conduit lui-même soit le long de l'extérieur de la tranchée, à l'aide de panneaux isolants. Il est possible que la conception finale demande une approche plus complexe, impliquant une analyse par éléments finis.

L'analyse thermique indique que 5,1 à 7,6 cm d'isolant suffiraient pour réduire à quelques centimètres la profondeur de dégel sous le conduit enterré. Pour enrayer l'extension de la partie inférieure de la cuvette de dégel, l'utilidor doit reposer sur au moins 0,3 m d'un matériau compact non gélif. Pour la stabilité à long terme, un lit de fondation de 0,61 m est souhaitable.

Le dégel est généralement plus marqué sur les côtés du conduit qu'en dessous. Au moins 0,3 m de matériau non gélif doit donc être placé de part et d'autre du conduit. Il se peut qu'on doive isoler les parois de la tranchée pour enrayer l'expansion de la cuvette de dégel dans le matériau même, à la profondeur du pergélisol. Les parois de l'excavation doivent être inclinées pour minimiser les effets du tassement dû au dégel. La figure 2 est une représentation schématique d'une gamme typique de positions de l'isotherme de 0 °C autour d'un utilidor ayant 7,6 cm d'isolant.

3) Fissuration par contraction. — Généralement, les contraintes dues à la fissuration ou au relèvement du sol ne posent pas de problèmes dans un sol polygonal. L'utilisation de remblai résistant au gel et le drainage adéquat du remblai permettent de réduire les contraintes dues à ces phénomènes. Avec un réseau de canalisations relativement rigides, comme les conduites souterraines de gaz, les contraintes sont considérables, mais l'utilidor en métal ondulé reste souple en présence de flexions minimales de courte durée.

4) Drainage. — Si un drainage adéquat n'a pas été prévu, de fortes pressions de dilatation se développent dans le remblai de l'utilidor souterrain, quand le matériau saturé d'eau gèle. Les pressions exercées sur le conduit souterrain peuvent entraîner une déformation considérable et des problèmes majeurs d'entretien. Elles peuvent être minimisées en réduisant la quantité d'eau circulant dans le sol. En été, il arrive que la tranchée dégèle et se remplisse d'eau. Un système de drainage souterrain doit être prévu pour réduire le soulèvement dû au gel. Le drainage peut se faire au moyen d'un drain de sortie à écoulement externe ou interne.

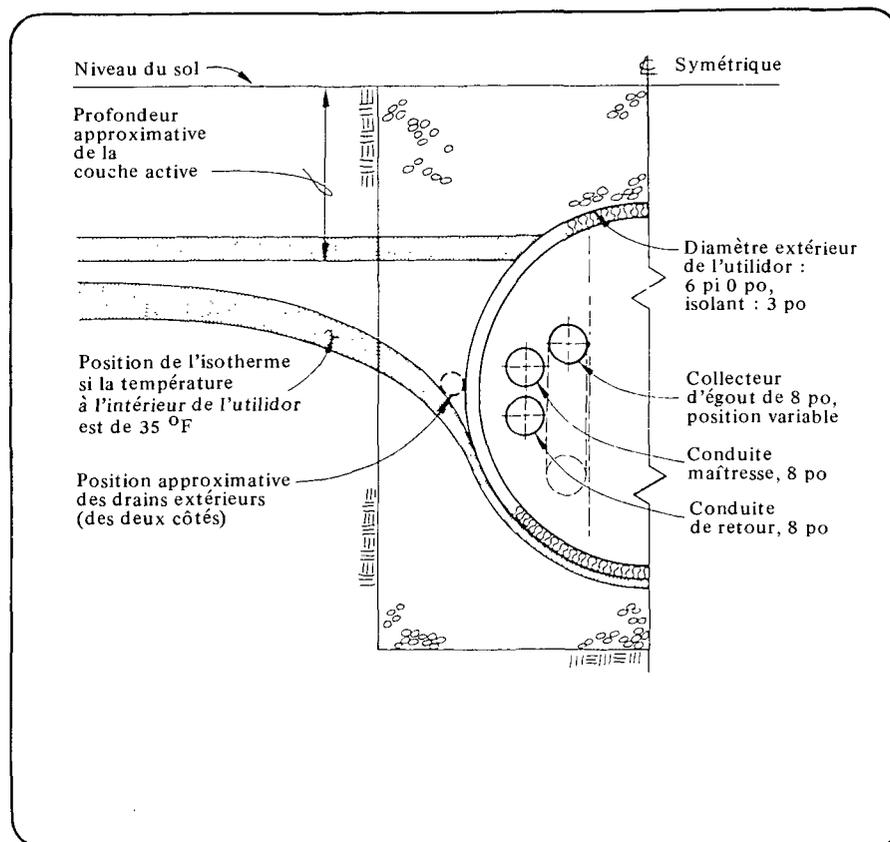


Figure 2 Utilidor souterrain : position de l'isotherme de 32 °F

Pendant et après la construction, les eaux de ruissellement doivent être évacuées hors de la tranchée. La présence d'une grande quantité d'eaux de ruissellement dans la tranchée peut entraîner la détérioration de l'isolant et l'érosion du sol gelé entourant le conduit. Le système de drains prévu pour l'utilidor est surchargé quand il doit fonctionner comme une bouche d'égout.

5) Types de travaux de construction. — Le dynamitage, le percement de tunnels et l'excavation mécanique de tranchées peuvent être utilisés pour l'aménagement de l'utilidor souterrain. Le dynamitage est possible dans le pergélisol froid, mais l'expérience montre que les résultats sont très variables. Il y a possibilité d'explosion ou de dynamitage excessif au niveau des parois latérales, ce qui risque d'accroître l'excavation et les quantités de remblai de 25 p. cent. Il peut y avoir également tassement brusque des structures avoisinantes.

Le percement de tunnels nécessite un système d'excavation plus profond qu'un creusage et remblayage, on risque donc de rencontrer des poches d'eau salée. Les problèmes thermiques associés à l'utilisation des équipements dans un tunnel gelé peuvent être difficiles à résoudre. De plus, cette méthode nécessite beaucoup d'équipement spécial pour creuser dans la boue et placer les conduits, et les branchements latéraux sont très difficiles à effectuer.

Il est impossible de creuser des tranchées à l'aide de l'équipement habituel. Cependant, il existe une machine spéciale pour creuser les tranchées des canalisations de gaz dans le pergélisol. Ce genre d'équipement a été utilisé pendant environ deux ans au nord de l'Alaska, au cours de la construction du pipeline de l'Alaska. Le taux de production dans le pergélisol limoneux et sableux est évalué à 30 mètres linéaires par heure pour des tranchées d'une profondeur de 2,44 à 2,74 m. Vu la taille de cet équipement (59 tonnes métriques) et la proximité de certains bâtiments, il se peut qu'on doive trouver d'autres méthodes d'excavation pour les endroits où les engins ne peuvent manoeuvrer.

6) Restauration de la zone des travaux. — Les travaux doivent être planifiés de façon à éviter la pollution des couches de gravier existantes et la destruction inutile de la couche organique de surface lorsqu'elle existe. Ces deux types de matériaux doivent être mis de côté pour le remblayage ou la restauration de surface. Les limons et sables riches en glace excavés doivent être enlevés pendant les travaux. Ces matériaux sont très difficiles à manipuler lorsqu'ils sont dégelés. S'ils sont laissés sur les lieux, ils peuvent retarder l'écoulement en surface et polluer les remblais de gravier existants. La réalisation des travaux au début du printemps facilite la manutention des matériaux, qui s'avère très difficile l'été.

Lorsque l'utilidor souterrain est placé sous une route, la surface doit être remise dans un état au moins aussi bon qu'avant la construction, avec un écoulement des eaux et une étanchéité du sol suffisants pour éviter l'érosion. Dans les autres sections souterraines, le remblai doit être conçu et placé de manière que l'eau s'écoulant dans la tranchée n'entraîne pas le gel du système et n'endommage pas la surface adjacente au conduit. Pour cela, il faut former un monticule et placer suffisamment de gravier dans la couche supérieure du remblai pour éviter un ruissellement excessif dans la tranchée. La repousse de la végétation (couverture du sol) doit être prévue dans les zones de toundra et les zones sans gravier.

### CHOIX DES RÉSEAUX DE SERVICES PUBLICS

Au départ, on a dressé une liste des solutions possibles pour doter chaque résidence de Barrow d'un système d'eau courante et d'un système de tout-à-l'égout. On a ensuite éliminé les solutions irréalisables ou illogiques. Le personnel municipal, les conseillers du Public Health Service et des experts ont guidé le processus de sélection. Les choix restants ont été évalués à l'aide de données fournies par la municipalité et par le PHS. Quatre priorités ont dicté le choix : 1) opinions et désirs des résidents; 2) fiabilité; 3) coûts d'exploitation et d'entretien (E & E); 4) coûts d'investissement. Les habitants ont exprimé les sentiments suivants : désir de ne pas restructurer la localité, refus des zones d'habitation à forte densité et souci de limiter la complexité du système choisi. Les avantages et les inconvénients généraux des aspects sociaux et techniques présentés par chaque option ont également été pris en compte dans le processus de sélection.

**Types de réseaux d'égout.** — Le choix du réseau d'égout a déterminé le tracé des autres services publics. Trois types de systèmes d'égout ont été étudiés :

- 1) Égout gravitaire, construit au-dessus ou au-dessous du sol;
- 2) Égout sous vide, ne présentant pas d'avantages réels s'ils sont souterrains, mais pouvant servir les habitations sans tenir compte des exigences de pente, lorsque les utilidors sont installés au-dessus du sol;
- 3) Égout sous pression, offrant peu d'avantages s'ils sont souterrains, mais permettant de réduire les exigences de pente si les utilidors sont installés au-dessus du sol.

Le tableau 1 énumère les avantages et les inconvénients des divers types de réseaux d'égouts.

**Types d'utilidors.** — Les utilidors au-dessus du sol, à la surface (à l'intérieur ou à proximité du mollisol) et souterrains sont comparés au tableau 2. Les trois types d'utilidors présentent des avantages et des inconvénients; on a évalué le réseau de services publics dans son ensemble avant de choisir un concept déterminé. Les utilidors installés dans la couche active du sol posent des problèmes exceptionnels. Les coûts d'exploitation et d'entretien peuvent être excessifs, à cause des mouvements du mollisol et de l'utilidor, ou du ruissellement. Par conséquent, cette solution n'a pas été recommandée.

**Réseau d'égout de Barrow.** — Après une analyse plus détaillée, faite à North Slope Borough en juin 1978, on a choisi pour Barrow un réseau combinant des utilidors au-dessus du sol et souterrains. On a décidé d'installer des utilidors souterrains dans le centre de Barrow pour des raisons de commodité et d'esthétique (circulation routière, ouvrages existants). On a choisi des utilidors au-dessus du sol Browerville et pour le Block A, où de tels aspects étaient moins importants et où le coût, en revanche, était un facteur primordial.

### ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

**Principe de l'utilidor.** — Les sections surélevées de l'utilidor sont conçues pour conserver un profil bas, servir de passage piétonnier et empêcher l'infiltration d'eau. Elles sont équipées de deux panneaux supérieurs amovibles, qui permettent l'accès à l'utilidor à des fins de construction ou d'entretien. Elles sont protégées des véhicules par des parapets et sont munies de garde-fous pour le passage des piétons. La figure 3 montre la section transversale d'un utilidor tubulaire souterrain, avec couloir de passage. L'utilidor est fait d'un tuyau intérieur

Tableau 1 Caractéristiques des systèmes de collecte des eaux usées

Type d'égout	Avantages	Inconvénients
Gravitaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>– À la maison, ne nécessite qu'un équipement standard</li> <li>– Ne consomme pas d'énergie électrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Des utilidors doivent suivre une pente continue</li> <li>– Les bâtiments à faible niveau ne peuvent pas être desservis par des utilidors installés au-dessus du sol</li> </ul>
Sous vide	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Risque moindre de gel si les pentes peuvent être conservées</li> <li>– Moins complexe que les autres systèmes</li> <li>– Permet de desservir les bâtiments situés plus bas que le collecteur d'égout</li> <li>– Permet l'utilisation de toilettes à faible consommation d'eau (1,8 l/chasse)</li> <li>– Ne nécessite pas de pente continue pour les tuyaux et utilidors</li> <li>– Ne consomme pas d'énergie électrique; diminue les risques de contamination des conduites d'eau en cas de fuites</li> <li>– Possibilité d'utiliser des tuyaux de faible diamètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robinetterie et tuyaux nécessaires à chaque bâtiment</li> <li>– Coups de chasse occasionnels nécessaires pour éviter le gel</li> <li>– Station centrale de pompage nécessaire pour éviter le gel</li> <li>– Pente légère, ne peut desservir les bâtiments construits sur de hautes collines</li> <li>– Plus complexe à cause des robinets spéciaux et des stations de pompage</li> </ul>
Sous pression	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Permet de desservir des bâtiments situés plus bas que les collecteurs principaux</li> <li>– Ne nécessite pas de pente sauf pour la vidange ou en hiver</li> <li>– Possibilité d'utiliser des tuyaux de faible diamètre pour les canalisations de branchement</li> <li>– Peut être utilisé conjointement avec un réseau gravitaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Peut nécessiter un puisard et une pompe à chaque maison</li> <li>– Peut nécessiter de l'énergie pour chaque pompe</li> <li>– Coups de chasse occasionnels nécessaires pour éviter le gel</li> <li>– Moins fiable mécaniquement si un grand nombre de pompes sont requises</li> </ul>
Pression d'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de pente minimale nécessaire</li> <li>– Permet de desservir les habitations</li> <li>– Peut nécessiter occasionnellement des unités plus basses que les collecteurs principaux</li> <li>– Faible consommation d'eau</li> <li>– Possibilité d'utiliser des tuyaux de faible diamètre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Moins fiable mécaniquement à cause de l'équipement nécessaire à chaque bâtiment</li> <li>– Énergie nécessaire pour chaque pompe</li> </ul>

Tableau 2 Type d'utilidor

Type d'utilidor	Avantages	Inconvénients	Remarques
Au-dessus du sol	<p>Frais de construction moindres.</p> <p>On peut accéder facilement aux utilidors.</p> <p>L'utilidor peut être utilisé comme passage s'il est bien conçu.</p> <p>Peut être utilisé avec des systèmes d'égout sous vide ou sous pression.</p> <p>Une canalisation de gaz peut être fixée à l'extérieur de l'utilidor.</p> <p>C'est le seul système éprouvé dans cet environnement et dans ces conditions de sol (pergélisol riche en glace).</p>	<p>Peut être esthétiquement moins acceptable qu'un utilidor souterrain.</p> <p>Limite la circulation.</p> <p>Exposé aux intempéries, aux accidents et au vandalisme.</p> <p>Exposé aux variations extrêmes de température, entraînant des pertes de chaleur et le mouvement des structures.</p> <p>Ne peut pas alimenter par gravité les maisons situées à bas niveau.</p> <p>Nécessite des installations spéciales aux carrefours (berme de gravier, pont ou installation aérienne).</p>	<p>Les utilidors peuvent être considérés pour tous les secteurs, mais ils sont plus avantageux dans les zones commerciales.</p>
À la surface, dans la couche active	<p>Ne constitue pas un obstacle à la circulation.</p> <p>N'a pas d'impact visuel notable.</p> <p>Peut servir de trottoir sans danger pour les piétons.</p> <p>Permet un accès facile à toutes les parties du système.</p>	<p>Exposé aux intempéries, accidents et vandalisme.</p> <p>Exposé à des températures plus extrêmes que les utilidors entièrement souterrains.</p> <p>Ne peut pas alimenter par gravité les maisons situées à bas niveau.</p> <p>Nécessite plus de matériau granulaire (rare) qu'un utilidor entièrement souterrain.</p> <p>Présente des problèmes de drainage considérables.</p> <p>Coûte probablement plus cher à l'entretien.</p> <p>Peut approfondir le mollisol et faire fondre le pergélisol si le remblayage n'est pas suffisant.</p> <p>Nécessite le contrôle des poussées dues au gel</p> <p>Parfois, la pente naturelle du terrain ne permet pas un système d'égout gravitaire.</p>	<p>La faisabilité d'une telle installation est contestable et doit être vérifiée avec soin.</p> <p>Les indications préliminaires indiquent ici qu'un utilidor en surface n'est pas une solution réalisable.</p>
Souterrain avec couloir de passage	<p>Peut alimenter toutes les maisons par gravité à l'aide de quatre ou cinq stations de relèvement.</p> <p>Exposition minimale aux températures extrêmes.</p> <p>Ne constitue pas un obstacle à la circulation.</p> <p>Accessible par des regards de service</p>	<p>Expérience limitée sur du pergélisol riche en glace.</p> <p>Coûts de construction élevés.</p> <p>Nécessite une utilisation considérable de matériau granulaire (ressource rare dans la région de Barrow).</p> <p>Crée des problèmes de captage des eaux.</p> <p>Nécessite une station de relèvement profonde, ce qui accroît les coûts de construction.</p>	<p>Les utilidors souterrains sont si coûteux que leur utilisation doit se limiter aux zones où leurs avantages l'emportent sur leur coût (zones commerciales) et là où il faudrait des utilidors parallèles placés au-dessus du sol.</p> <p>N'ont pas fait leurs preuves dans un pergélisol riche en glace.</p> <p>Vérification hautement souhaitable.</p>

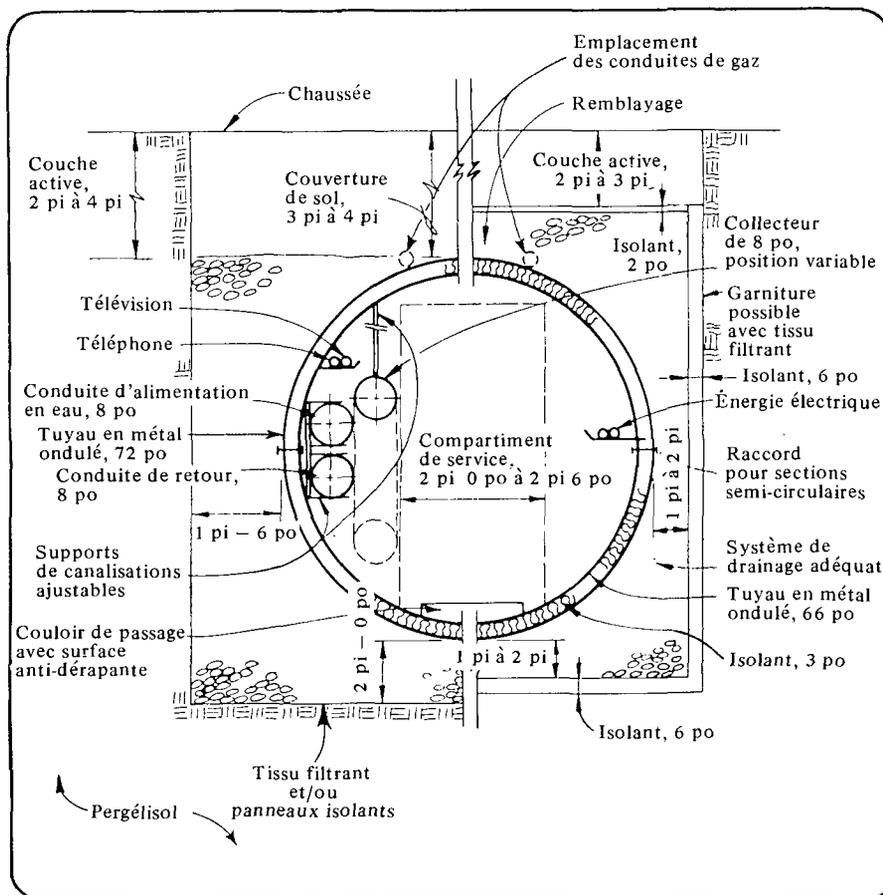


Figure 3 Coupe d'un utilidor au-dessus du sol avec couloir de passage

en métal ondulé de 1,68 m et d'un tuyau extérieur en métal ondulé de 1,83 m, l'espace intérieur étant rempli de 7,6 cm de mousse de polyuréthane. Des sections semi-circulaires peuvent être préfabriquées et assemblées sur place, pour faciliter l'expédition du matériel. L'utilidor doit pouvoir être drainé; il doit si possible présenter la même pente que le collecteur gravitaire; des pompes d'assèchement sont nécessaires aux endroits faiblement inclinés.

Un système extérieur de drainage souterrain nécessitant des puisards périodiques peut être utilisé. Des conduits extérieurs sont alors placés près de l'utilidor, aux limites inférieures de la cuvette de dégel (ligne de printemps), pour évacuer la plus grande partie de l'eau de ruissellement. Une conduite de vidange doit être prévue, de l'un ou l'autre des côtés de l'utilidor. L'installation de rubans chauffants et de systèmes auxiliaires de dégel peut également être nécessaire car les drains de sortie, situés sous l'utilidor, peuvent rester gelés et donc inutilisables pendant toute l'année.

Les systèmes intérieurs de drainage peuvent nécessiter la perforation de la partie inférieure de l'utilidor même, transformant alors le conduit en drain de sortie lorsqu'il y a de l'eau libre. Ce système présente un inconvénient, à savoir la présence d'eau et de glace dans l'utilidor. On peut envelopper l'utilidor dans un tissu filtrant et placer des crépines aux perforations pour éviter l'infiltration du matériau de remblayage dans l'utilidor.

La conception s'intéresse également aux conditions d'accès à l'utilidor, aux "utilidettes" et aux canalisations de branchement.

**Service d'eau.** – L'eau est fournie par l'installation du PHS. Un bâtiment abritant les pompes à eau, les échangeurs de chaleur, les pompes de recirculation, les robinets de remplacement et les commandes du générateur auxiliaire, doit être construit près de la centrale électrique de Barrow Utilities and Electric Cooperative Inc. (BUECI), de manière à récupérer la chaleur résiduelle pour le chauffage de l'eau. La vitesse de l'écoulement au sein du réseau de distribution avec boucle doit être maintenue à un minimum de 0,46 m/s pour assurer une vitesse induite suffisante dans les canalisations de branchement (principe du "pitonifice"). Les canalisations principales d'eau (qui assurent le chauffage de l'utilidor) doivent être maintenues à une température telle que l'écoulement de retour atteigne au moins 2,8 °C, pour éviter le gel et pour parer à la situation en cas de panne.

La génératrice à turbine à gaz Solar Centaur du BUECI doit produire, à mi-charge, 10,7 millions de Btu/h en chaleur rejetée. On estime que la quantité de chaleur nécessaire pour maintenir la température de l'eau de retour à plus de 2,8 °C est de 1,8 million de watts en hiver. Si la turbine ne fonctionne pas, la génératrice auxiliaire située à l'installation de traitement de l'eau doit fournir l'énergie nécessaire aux pompes à eau.

La demande d'eau a été calculée pour cinq personnes par maison, à 227 l/d par personne, pour une population de 4 700 habitants. On a considéré et la consommation domestique et le débit d'eau en cas d'incendie. La circulation d'eau devant être suffisante pour prévenir le gel des canalisations, le débit doit être plus grand que ne l'exigent les besoins domestiques. Cependant, avec l'utilisation de dispositifs de conservation de l'eau, la moyenne de la demande quotidienne devrait s'établir à moins de 227 l/d par personne, valeur modérée retenue pour les calculs.

L'analyse informatique des exigences du système tient compte de la taille des pompes et de l'équipement nécessaire pour fournir 94,6 l/s aux gros consommateurs, avec une pression résiduelle de 138 kPa dans le réseau de distribution (débit d'eau en cas d'incendie) et une pression de service variant de 207 à 690 kPa. Pour les besoins de la sécurité incendie, le mieux est d'utiliser des extincteurs individuels, des camions-citernes et des pompes à incendie conçus pour les régions froides. Car le recours aux bornes d'incendie intégrées au réseau de distribution s'est heurté dans les régions froides et isolées à de nombreuses difficultés.

**Service d'égout.** – Des perfectionnements seront apportés au réseau d'égout à l'étape finale de la conception. Par souci de simplicité, on devra installer des égouts gravitaires partout où cela est possible. Il faudra également considérer les branchements des systèmes de chasse sur les canalisations se terminant en cul-de-sac. L'exutoire proposé est un égout sous pression, d'une longueur de 3,2 km, dans un conduit posé au-dessus du sol et dirigé vers la lagune South Salt.

**Autres services publics.** – Un espace suffisant a été prévu à l'intérieur et à l'extérieur de l'utilidor pour les fils électriques, téléphoniques et les câbles de télévision.

**Choix des matériaux.** – Le choix des matériaux de construction est en grande partie une question d'expérience technique et de jugement. Très souvent, le meilleur élément n'est pas facilement identifiable car de nombreux matériaux peuvent être utilisés avec des résultats semblables, avec des compromis mineurs. De plus le prix, les frais d'expédition, le poids, le volume et autres caractéristiques du matériau peuvent être critiques en ce qui concerne l'évaluation du projet de Barrow. En tenant compte des propriétés des divers matériaux, de l'expérience antérieure et des données sur le rendement, les options suivantes furent proposées à l'étape finale de la conception.

Composantes du réseau d'utilidors	Matériau recommandé
Tuyau d'un diamètre supérieur à 76 mm	Acier, fer ductile ou doués en bois
Tuyau d'un diamètre de 76 mm ou moins	Cuivre, polyéthylène de grande masse moléculaire ou fer galvanisé
Utilidor au-dessus du sol	Caissons de contreplaqué, de plastique ou de fibre de verre
Utilidor souterrain	Tuyau en métal ondulé ou coffrage en bois d'oeuvre
Utilidette	Conduit arctique ou coffrage en bois

Pour des raisons financières, il importe de réduire la complexité et les exigences d'entretien du réseau; il faut normaliser l'équipement et les matériaux au stade de la conception finale. Une standardisation optimale permet de réduire non seulement les besoins en pièces de rechange, mais aussi le temps alloué à la formation des opérateurs, les tâches étant moins diversifiées.

### ÉVALUATION DES COÛTS

Pour la construction et le financement, le type de réseau choisi a été divisé en une section initiale de démonstration et trois phases primaires de construction (figure 4). On a recommandé qu'il y ait une section de démonstration, pour déterminer les capacités du matériel et des techniques de construction souterraine sur une section relativement petite du réseau. Ce procédé permet d'améliorer le concept là où théorie et pratique sont en désaccord, et de vérifier l'évaluation des coûts.

Le tableau 3 donne les coûts en capital, ainsi que les coûts d'exploitation et d'entretien. Les coûts sont indiqués en dollars 1978 et comprennent un facteur de sécurité de 25 p. cent pour les utilidors au-dessus du sol, les stations de relèvement et la station de recirculation et de chauffage. Les coûts en capital des utilidors souterrains comprennent un facteur de sécurité de 50 p. cent parce que les inconnues sont en plus grand nombre. Le coût unitaire approximatif de l'utilidor, composante essentielle du système, est de \$3 280 par mètre pour la section souterraine, et de \$1 804 par mètre pour la section au-dessus du sol. À titre de comparaison, rappelons que le coût réel de l'utilidor souterrain de Nome, construit en 1977-78, était de \$1 542 par mètre. Les coûts mensuels d'exploitation et d'entretien (E & E) par unité existante seraient de \$168 si toutes les phases étaient terminées en même temps. Si l'amortissement du capital était inclus, ce taux mensuel augmenterait sensiblement.

Tableau 3 Résumé des coûts (toutes phases comprises)

Coûts en capital	\$ 52 000 000
Coûts annuels d'E & E	\$990 000
Nombre d'unités existantes	491
Coût en capital par unité	\$106 000
Coûts mensuels d'E & E par unité	\$168

### CONTRAINTES EN MATIÈRE DE CONSTRUCTION

L'équipement lourd et les matériaux de construction sont généralement livrés une fois par an, à la mi-août, par chaland. Pour installer les structures, il faut que les pieux soient en place et leur matériau de remblayage gelé. Il est souvent préférable de construire les fondations à l'avance. L'équipement de forage pour l'installation des pieux peut être obtenu toute l'année à Barrow, mais les travaux sont moins difficiles en avril ou en mai, lorsque la température de l'air est au-dessous du point de congélation et que la température du sol est à son minimum. En été, les travaux sont plus risqués à cause de l'eau souterraine, de la boue dans les trous creusés pour les pieux et de la mobilité réduite de l'équipement sur la surface dégélée.

La construction d'utilidors souterrains doit se faire à la fin de l'automne, en hiver ou au printemps, lorsque le sol est gelé, afin d'éviter les problèmes dus au ruissellement des eaux de surface, aussi bien que la dégradation thermique des tranchées. De cette façon, on peut éliminer les problèmes d'assèchement et d'étalement (mais non la présence de poches d'eau salée). Si les travaux se font en été, il faut empêcher l'inondation des tranchées ouvertes et contrôler les infiltrations par un pompage fréquent. Le travail doit être organisé de façon à porter sur de courtes sections, pour réduire la durée d'exposition du pergélisol. Il peut être nécessaire d'abriter les tranchées ouvertes et d'insérer un isolant entre le pergélisol et le matériau de remblayage relativement chaud.

### ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

En août, septembre et novembre 1978, des travaux d'arpentage et des études géotechniques ont permis de reconnaître : 1) l'état du sous-sol le long de l'alignement proposé pour les utilidors et aux emplacements proposés pour les ouvrages; 2) les sources potentielles de remblai de gravier pour environ 114 700 mètres cubes de gravier; 3) les conditions de température du sol (puits de surveillance de la température aux emplacements choisis).

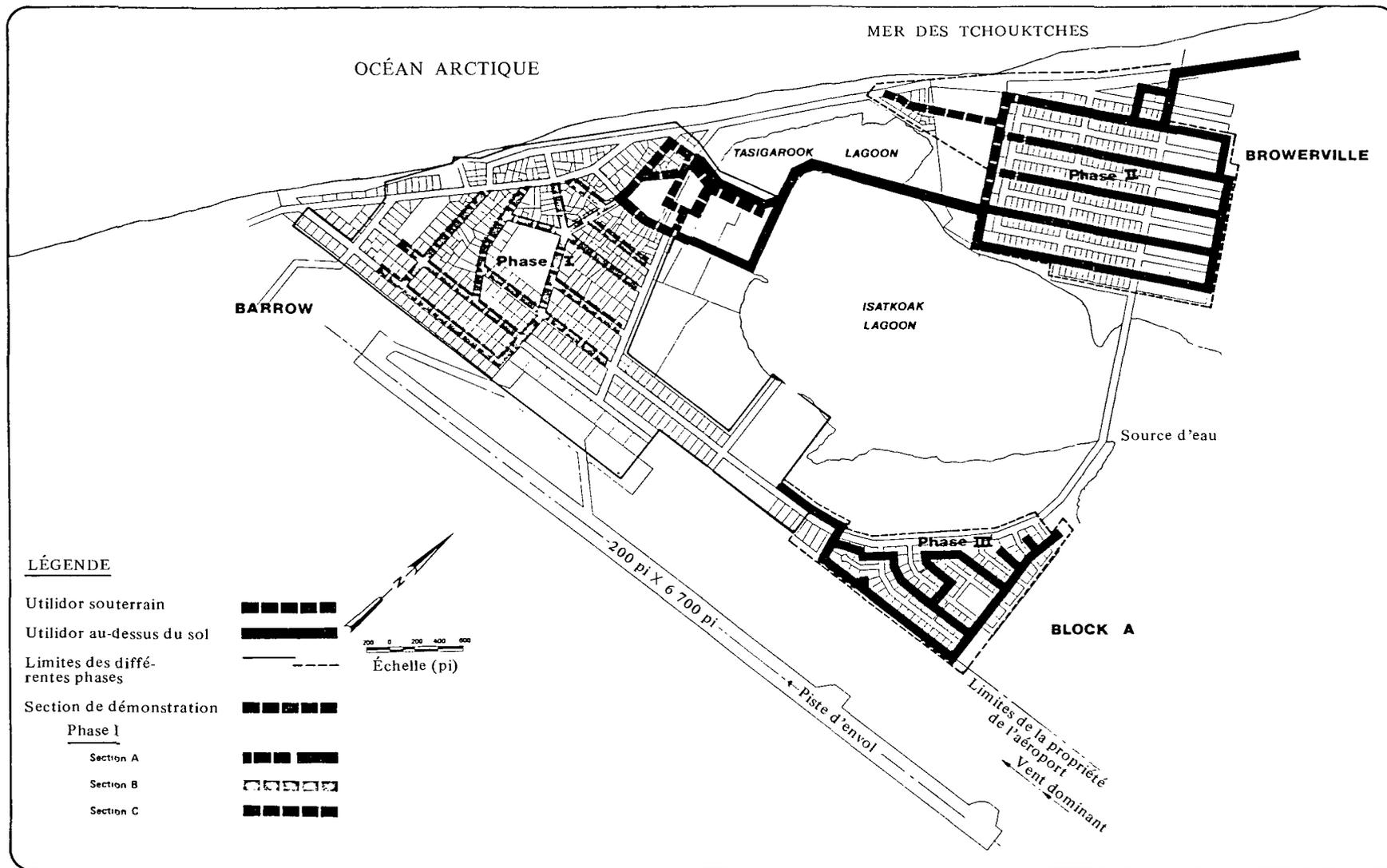


Figure 4 Étapes de la construction

Une étude électromagnétique a permis de détecter les conditions anormales du sous-sol et de déterminer les meilleurs emplacements pour les forages. Les couches non gelées, les zones à forte teneur en saumure, les différents types de matériaux et les débris souterrains peuvent être détectés, dans certaines conditions, par des sondages EM. Au total, 160 forages ont été effectués au cours des études sur le terrain. Des relevés ont été effectués à l'aide d'un brassomètre dans la lagune South Salt, pour déterminer la topographie du fond et la profondeur de l'eau. Un essai de mesure sismique de rétraction de la lagune (pour définir la profondeur jusqu'au pergélisol adhérent), s'est révélé vain à cause de la présence de corps étrangers (principalement des barils et autres déchets du genre), enfouis dans les dépôts du fond.

En général, les essais de forage ont révélé la présence d'une couche superficielle de matériau de remblayage sur un sol organique (tourbe), qui lui-même recouvrait des limons sableux et des sables limoneux. La présence de couches de glace massives a été décelée, à des profondeurs de 1,52 à 3,05 m, dans une zone déjà repérée comme sol polygonal à densité élevée. La figure 5 présente les profils de trois conditions de sol caractéristiques.

**Aires de prélèvement.** — À partir de données géotechniques, on a conclu que les sites de prélèvement étudiés peuvent produire du matériau de remblai graveleux et sableux contenant de 3 à 12 p. cent de grenaille, c.-à.-d. des fractions granulométriques plus petites que 70 microns (ce que laisse passer un crible 200 U.S. standard). Ces dépôts sont stratifiés et la matière à faible teneur en limon (moins de 5 p. cent de grenaille) est située plus profondément que la matière à teneur moyenne en limon (5 à 12 p. cent de grenaille). Il faudra probablement dynamiter le sol et pratiquer des excavations profondes pour atteindre le gravier.

Sur les deux sites, la couverture de sol est composée de matières organiques, de limon et de sable limoneux. On rencontre à l'occasion des lentilles et des couches de glace claire. Les zones de prélèvement peuvent produire plus de 305 820 m<sup>3</sup> de remblai limoneux ou peu limoneux, à chacun des deux endroits, si on creuse à une profondeur de 7,62 m. Environ 267 595 m<sup>3</sup> de sol à forte teneur en limon devront être enlevés à chaque site.

**Température du sol.** — Dans 11 trous de forage, on a installé un tube en chlorure de polyvinyle (PVC), dans lequel on a inséré des thermistors pour surveiller la température du sol. Les premières lectures ont été obtenues fin-novembre; d'autres seront effectuées environ tous les deux mois, pendant un an. La figure 6 montre le profil de la température du sol en fonction de la profondeur au cours d'une saison caractéristique (cycles de gel-dégel). Il y a une corrélation étroite entre ce profil et ceux que présente le rapport technique de l'U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL).

En s'appuyant sur les résultats des enquêtes géotechniques, on a recommandé qu'une analyse thermique détaillée soit utilisée à l'étape finale de la conception de tout utilidor souterrain. Les propriétés thermiques étudiées à l'occasion d'une telle analyse doivent prendre en considération la teneur saline et la présence de pétrole dans l'eau interstitielle. Généralement, les propriétés thermiques peuvent être estimées avec une précision suffisante à l'aide des relations de Kersten (4). Cependant, en raison de la complexité du problème et de la pollution des eaux interstitielles, il faut considérer la possibilité d'essais de conductivité thermique sur des échantillons représentatifs, comme ceux effectués par Mitchell et Kao (5). Cela permettrait d'évaluer l'incidence de la salinité et du pétrole sur les propriétés thermiques.

Les paramètres du sol utilisés pour la conception finale dépendront des données sur la température du sol qu'on recueille actuellement. L'étude finale des sols doit être menée parallèlement à l'étude finale du réseau d'utilidors. Il faut connaître les surcharges, avoir déterminé l'emplacement des utilidors et les températures intérieures, pour sélectionner les facteurs d'étude des sols.

## CONCLUSIONS

Les enquêtes géotechniques ont confirmé de nombreuses hypothèses formulées au moment de l'étude préliminaire. Elles ont indiqué que le système souterrain proposé est réalisable; elles ont fourni des renseignements pour l'étude et les décisions définitives. La coordination des décisions et actions du district de North Slope et des groupes impliqués dans le développement du projet sera nécessaire pour obtenir le financement, les permis et droits de passage nécessaires, les matériaux, l'équipement, ainsi que pour organiser l'exploitation et l'entretien du système, la formation du personnel, etc. Les rapports et l'approbation de divers organismes seront également nécessaires, ce qui pourrait entraîner une perte de temps si un effort maximal n'était fourni pour réaliser le projet dans les délais prévus. Certains aspects des relations complexes entre les différents groupes en cause sont indiqués à la figure 7, premier organigramme des responsabilités pour le projet de services publics à Barrow.

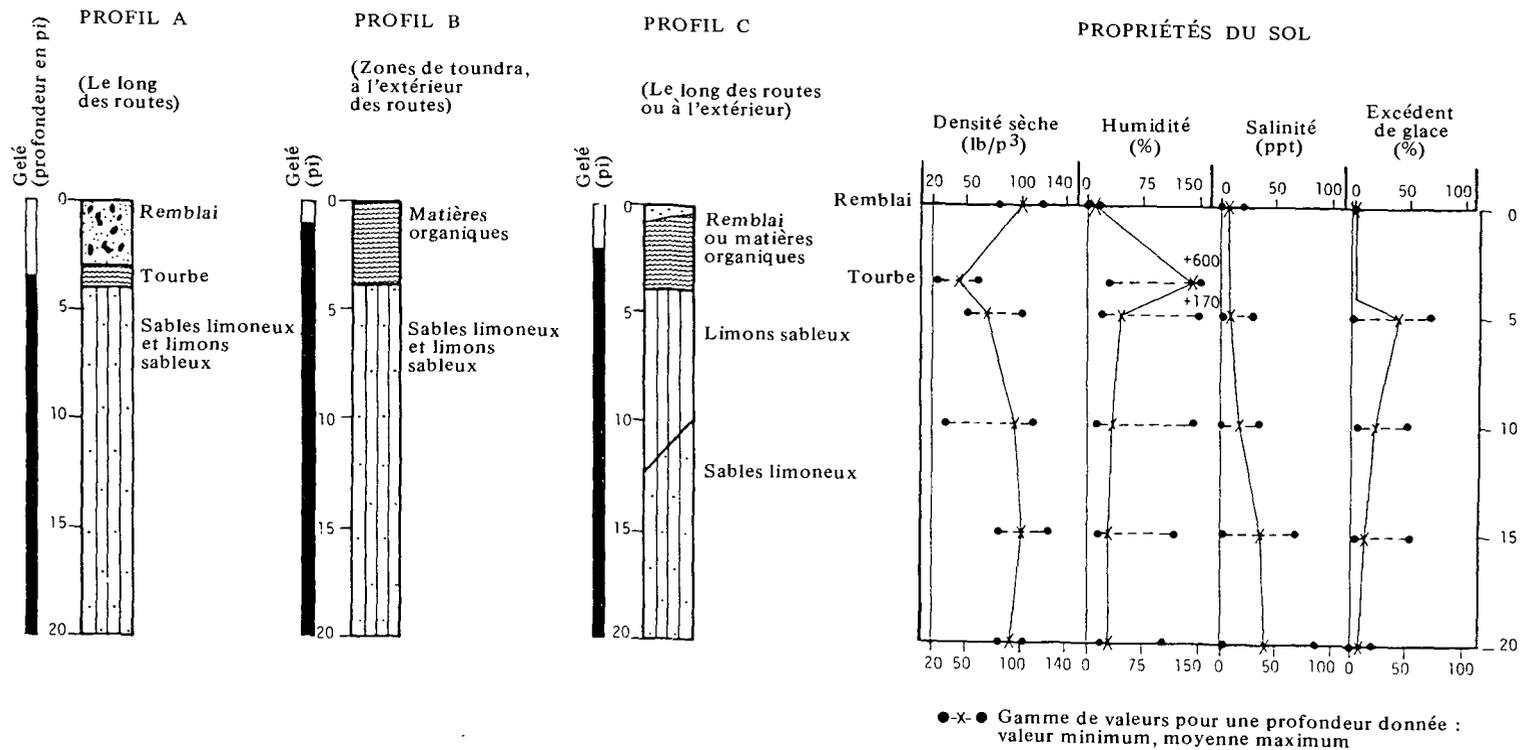


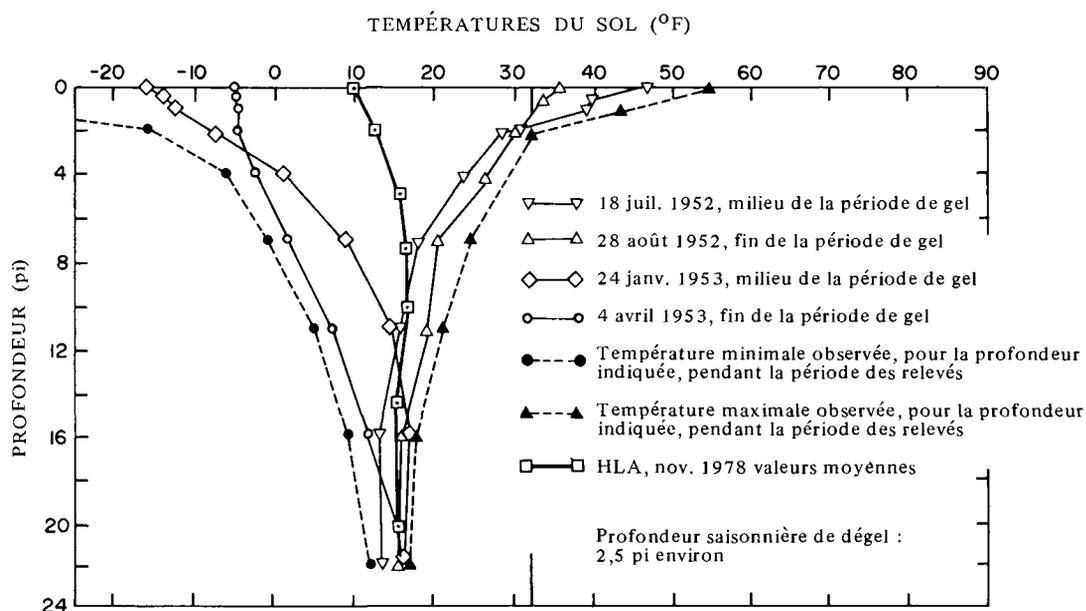
Figure 5 Profils du sol

PARTICIPANTS	ACTIVITÉS	
NORTH SLOPE BOROUGH		Coordination et direction générale du projet
CHISM HILL		Objectifs et priorités du projet
B U E C I I		Critères techniques
BUREAU OF INDIAN AFFAIRS		Ordonnancement
PUBLIC HEALTH SERVICE		Phases du projet
CITY OF BARROW		Plan de financement
ARCTIC SLOPE REGIONAL CORP.		Octrois
UKPEAGVIK INUPIAT CORP.		Encaisse
E P A.		Détermination de l'incidence sur le milieu (au besoin)
BUREAU OF LAND MANAGEMENT		Entrevues
ALASKA DEPT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION		Coopération des autochtones et groupes locaux
		Ceuillette de l'information sur place
		Implication d'autres services publics
		Approbations des organismes
		Accords entre organismes
		Accords des autres services publics
		Rapports des organismes
		Permis
		Acquisition des terres et servitudes
		Approvisionnement en eau suffisant
		Approbation de la méthode et du lieu d'évacuation des eaux usées
		Accords concernant le prélèvement du matériau de remblai
		Stockage des matériaux prélevés
		Méthodes d'acquisition
		Conception technique
		Révision technique
		Préparation des contrats
		Achat et réception
		Acquisition (offre et adjudication)
		Administration des contrats
		Inspection des travaux de construction

LÉGENDE

- R . Responsable
- S . Soutien/assistance
- I . Doit être informé
- RE . Révision
- A . Approbation

Figure 7 Projet d'aménagement de services publics à Barrow : partage des responsabilités



On a retenu 1952-53 comme saison caractéristique. Les courbes de températures maximales et minimales pour le milieu et la fin des périodes de gel et de dégel sont indiquées ici, ainsi que les températures maximales et minimales détectées pour chaque profondeur du sol. La période des relevés a duré 10 ans.

Source : U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, rapport technique n° 105.

Figure 6 Profils de température du sol à Barrow

La conception définitive du projet de services publics à Barrow n'a pas encore été entreprise. Le district de North Slope étudie sa situation financière et explore les différentes options en vue d'obtenir un financement extérieur. Un projet de plus de \$52 millions dépasse les normes financières habituelles pour des services d'eau et d'égout et il faudra peut-être des dispenses spéciales de la part de certains services gouvernementaux.

#### REMERCIEMENTS

Sans l'aide financière et le soutien continu de North Slope, le présent travail n'aurait pas été possible. Nous sommes reconnaissants de l'aide que nous ont apportée de nombreux organismes et particuliers, lors du développement et de l'étude du projet préliminaire, ainsi que des enquêtes géotechniques. Nous remercions de leur contribution les services et personnes dont les noms suivent : U.S. Department of HEW, Environmental Health Branch, Harding-Lawson Associates, Dr E.F. Rice, Erv Long, John Dahlke.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) *Water and Sewer Master Plan and Preliminary Engineering Report, City of Barrow, Alaska*, préparé pour H.S.M.H.A. Alaska Area Native Health Service, Linck-Thompson. Fairbanks, Alaska, juillet 1972.
- 2) Leman, L.D., A.L. Storbo, J.A. Crum et G.L. Eddy, *Underground Utilidors in Nome, Alaska, Applied Techniques for Cold Environments*, American Society of Civil Engineers, Speciality Conf. on Applied Techniques for Cold Environments, New York, 1978.
- 3) Rice, E.F., J.R. Saroff et W.B. Fuller, *The Barrow Community Development Study*, préparé pour Barrow, Alaska, University of Alaska, mars 1964.
- 4) Kersten, M.S., *Laboratory Research for Determination of the Thermal Properties of Soils*, Bulletin 28, Engineering Experiment Station, University of Minnesota, 1949.
- 5) Mitchel, J.K. et T.C. Kao, *Measurement of Soil Thermal Resistivity*, *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104, n° GT10, octobre 1978.

- 6) Banin, A. et D.M. Anderson, *Effects of Salt Concentration Changes During Freezing on the Unfrozen Water Content of Porous Materials*, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., février 1974.
- 7) CH2M HILL, *Preliminary Design : Utilities for Barrow, Alaska*, Anchorage, Alaska, septembre 1978.
- 8) CH2M HILL et Harding-Lawson Associates, *Geotechnical Investigations : Utilities for Barrow, Alaska*, Anchorage, Alaska, février 1979.
- 9) *Utilities Delivery in Arctic Regions*, Environnement Canada, Service de la protection de l'environnement, rapport d'étude économique et technique EPS 3-WP-77-1, janvier 1977.
- 10) *City of Barrow, Comprehensive Development Plan*, préparé pour la ville de Barrow par l'Alaska State Housing Authority, juillet 1970.
- 11) Tobiasson, W., *Utility Tunnel Experience in Cold Regions*, tiré à part de l'American Public Works Association, Special Report No. 41, New York, 1971.

## NEUVIÈME SÉANCE ÉTUDES DE CAS

### NOUVELLES SOLUTIONS POUR LES SERVICES D'EAU ET D'ÉGOUT DANS LES ZONES DE PERGÉLISOL; NORMAN WELLS, T.N.-O.

W.W. Irwin  
M.M. Dillon Limited  
Edmonton (Alberta)

#### INTRODUCTION

**Norman Wells.** — La localité de Norman Wells se trouve sur la rive est du Mackenzie, à environ 140 km au sud du cercle arctique. C'est la plus ancienne localité des Territoires du Nord-Ouest; elle doit son existence à l'exploitation des richesses naturelles, Norman Wells ayant été fondée en 1920, à la suite de la découverte d'un important gisement de pétrole. L'agglomération, qui abrite une grande raffinerie de pétrole (1 000 000 de barils) située à sa limite ouest, est le coeur administratif et commercial de la partie centrale de la vallée du Mackenzie. La population, relativement stable depuis plusieurs années, est de 400 habitants.

La localité est dotée d'une piste aérienne goudronnée, longue de 1 800 m. Cinq jours par semaine, un avion à réaction assure le service Norman Wells-Edmonton et Norman Wells-Yellowknife. En été, des chalands relient la localité au terminal ferroviaire de Hay River, à 800 km au sud-est.

Norman Wells se trouve dans une zone de pergélisol discontinu. La moyenne annuelle de la température de l'air est de  $-6^{\circ}\text{C}$  et la température du sol est de  $-3^{\circ}\text{C}$  à une profondeur de 15 à 30 m. L'épaisseur du pergélisol est de 45 à 60 m et celle de la couche active varie de 0,7 à 3 m, en fonction du type de couverture et de sous-sol.

**Programme de services publics.** — À l'automne de 1975, les responsables gouvernementaux eurent à considérer deux problèmes majeurs ayant trait aux services municipaux de Norman Wells : 1) le réseau d'utilidors qui servait une grande partie de la localité était désuet et abîmé; 2) il fallait prolonger le réseau en prévision de l'expansion urbaine qui suivrait la construction imminente du pipeline de la vallée du Mackenzie.

On entreprit des études concernant ces questions à l'automne 1975. Au début de 1976, le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest retint les services de M.M. Dillon Limited pour la mise en oeuvre d'un programme de travaux de réfection et d'expansion du service d'eau et d'égout de la localité.

**Portée du présent document.** — Ce document vise à exposer dans leurs grandes lignes les éléments de conception; la mise au point du concept du réseau et les détails de conception; les techniques et les problèmes de construction, ainsi que l'évaluation du rendement subséquent du réseau d'eau et d'égout installé à Norman Wells entre 1976 et 1978.

#### CONTEXTE

Conditions du terrain et du site

A. — Centre de la localité. — À Norman Wells, seule une bande étroite de terrain, située en bordure du Mackenzie, a été mise en valeur à des fins résidentielles et commerciales. L'expansion urbaine de la collectivité est limitée par la raffinerie à l'ouest, l'aéroport au nord et à l'est, la rivière au sud. La localité s'étend sur 10 km le long de la rive, mais le centre résidentiel et commercial (figure 2) mesure moins d'un kilomètre.

B. — Centre : secteur au sud de Mackenzie Drive. — En 1975, le secteur central au sud de Mackenzie Drive était presque entièrement aménagé. C'est une zone assez élevée qui surplombe de 12 à 15 m la rive du fleuve, et où l'écoulement des eaux de surface est relativement bon.

Le sol de cette région présente le plus souvent la composition suivante : une fine couche de matières organiques couvre une couche d'argile limoneuse et de sable limoneux épaisse de 5 à 8 m, sous laquelle se trouvent du schiste argileux et du calcaire. La majeure partie de la région est située dans une zone de pergélisol; le sol est souvent riche en glace.

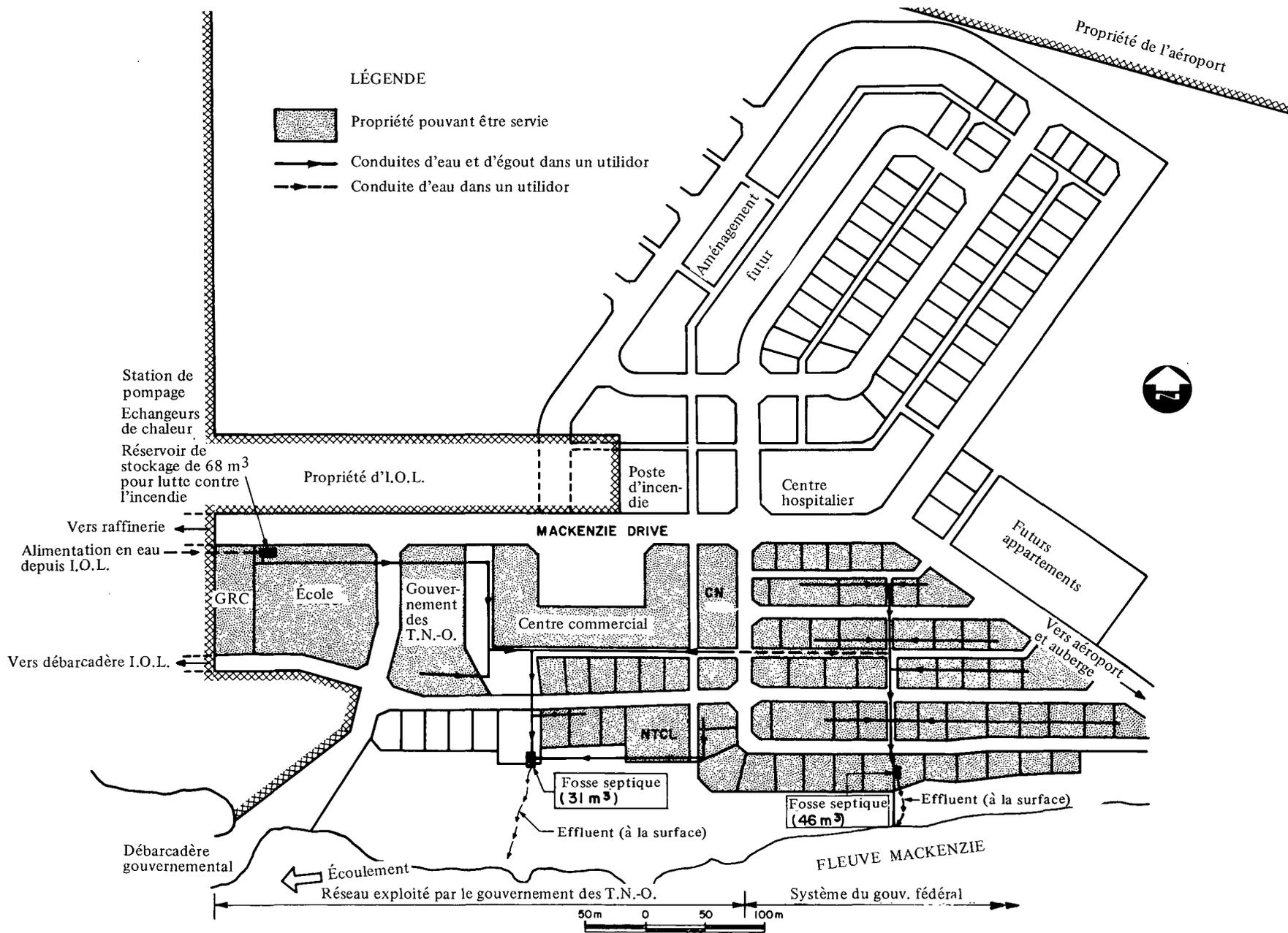


Figure 1 Service d'eau et d'égout de Norman Wells, T.N.-O. (1975)

Dans le cadre du programme d'aménagement, une grande partie de la région a été recouverte d'une couche de remblai importé dont l'épaisseur variait de quelques centimètres à plus d'un mètre. Pour certaines routes, on a posé une épaisse couche de déchets d'épinette sous le remblai, pour servir d'isolant.

Les bâtiments chauffés ont tous été construits soit sur des pilotis s'appuyant sur la roche, soit sur des semelles de fondation placées sur un remblai. Tous les bâtiments ont été construits sans sous-sol et toutes les habitations ont été équipées d'une jupe de fondation.

C. – Centre : secteur du nord de Mackenzie Drive. – À l'automne de 1975, l'aménagement du secteur au nord de Mackenzie Drive était avancé. Ces terres, qui conviennent moins bien au développement, sont basses et marécageuses; elles s'élèvent progressivement vers le nord en direction de l'esker où se trouve l'aéroport.

Le sol de la région est le plus souvent composé d'une couche de matières organiques épaisse de 1 à 2 m où l'écoulement des eaux se fait mal, et sous laquelle s'étendent de l'argile limoneuse et du sable limoneux. À une profondeur d'environ 6 m, on trouve du schiste argileux. La couche organique n'est épaisse que de quelques centimètres dans la partie nord de cette zone et l'écoulement des eaux est meilleur à mesure que s'élève le terrain.

Pour aménager ce secteur, il a fallu creuser des tranchées et assécher le sol des terres basses, puis placer une couverture de calcaire et d'argile épaisse de 1,2 m à plus de 2 m, de façon à favoriser l'écoulement des eaux de surface. Le calcaire utilisé provenait de carrières, et le calibre des morceaux variait de quelques cm<sup>3</sup> à 3 m<sup>3</sup>. L'argile était du type "gravier moyen". On a noté des tassements dus au dégel atteignant 0,4 m dans le remblai, à la fin de la première saison.

#### Services existants et problèmes

A. – Historique. – Plusieurs projets d'aménagement de services publics ont été réalisés dans la région de Norman Wells au cours des 40 dernières années. Des réseaux souterrains ou au-dessus du sol ont été construits par divers organismes dont l'armée américaine, Imperial Oil Limited, Transports Canada, Travaux publics Canada et le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.

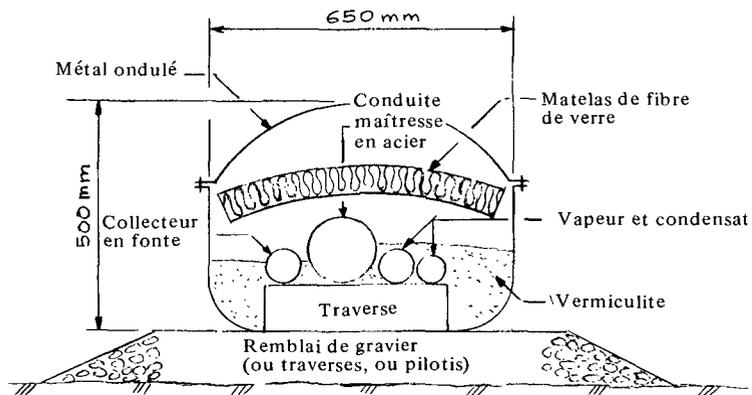
À cause des mauvaises conditions du sol et de la rigueur du climat, bon nombre de ces systèmes ont rapidement cessé de fonctionner. Les causes des défaillances variaient : insuffisance de l'isolation thermique, dégradation du pergélisol, soulèvement des pilotis dû au gel, piètres qualité et durabilité des enceintes, corrosion de la tuyauterie. En général, les concepteurs de chaque nouveau projet connaissaient les problèmes des systèmes existants, et la conception s'est améliorée de façon continue avec chaque génération de systèmes.

B. – Services existants en 1975. – Deux réseaux étaient en service dans le centre de la localité en 1975, comme l'indique la figure 1. La partie ouest du centre était servie par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest et la partie est par Travaux publics Canada.

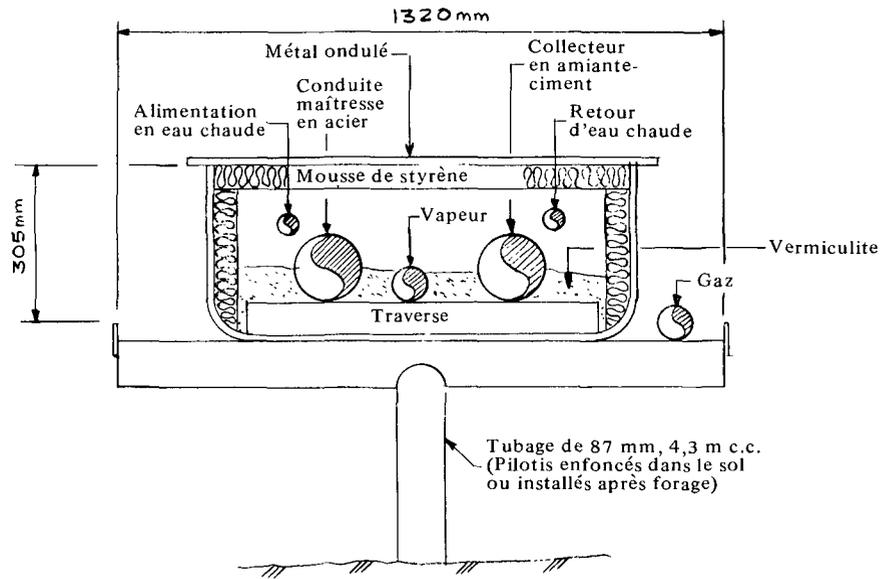
Dans les deux cas, il s'agissait essentiellement de réseaux d'utilidors au-dessus de sol avec canalisations de branchement, sans recirculation d'eau. Les canalisations de branchement de chacun des systèmes étaient inclinés vers des fosses septiques qui rejetaient leurs effluents en amont du fleuve, à proximité des zones résidentielles.

La collectivité achetait à Imperial Oil de l'eau traitée, de la vapeur et du gaz naturel qui étaient acheminés par utilidor de la station de comptage (située à la lisière ouest de la localité) jusqu'au bâtiment des pompes, où se trouvaient les installations suivantes : réservoir de stockage de 68 m<sup>3</sup> pour la lutte contre l'incendie; pompe électrique de relais pour maintenir la pression dans les canalisations principales et pompe à incendie diesel; point de remplissage des camions pour les habitants qui n'étaient pas rejoints par le réseau d'utilidors; vapeur pour les échangeurs de chaleur et chaudières auxiliaires au mazout pour le chauffage des canalisations (eau chaude).

Le réseau d'utilidors exploité par le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, qui partait de la station de pompage de relais, était un système relativement moderne construit en 1972. Comme l'indique la figure 2, l'utilidor comprenait une enceinte en métal ondulé et galvanisé, à partie supérieure plate. Il était isolé avec de la mousse de styrène sur le dessus et les côtés, avec de la vermiculite au-dessous. La tuyauterie à l'intérieur de l'enceinte comprenait divers éléments : une conduite principale d'eau, en acier, de 150 mm; une canalisation d'égout, en amiante-ciment, de 150 mm; des canalisations d'alimentation et de retour, de 38 mm, pour l'eau chaude servant à chauffer l'utilidor. Le branchement principal de l'utilidor comprenait également une canalisation de vapeur de 75 mm qui alimentait le réseau d'utilidors de Travaux publics Canada. L'utilidor était posé sur des pilotis faits de tuyaux d'acier de 87 mm, enfoncés dans le sol jusqu'à l'assise rocheuse.



Utilidor exploité par le gouvernement fédéral  
(un type de construction)



Utilidor exploité par le gouvernement des T.N.-O.

Figure 2 Coupes d'utilidors existant en 1975

Le réseau d'utilidors de Travaux publics Canada était alimenté en vapeur et en eau par le système du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest. En 1975, ce système était un curieux assemblage de différentes sections, construites par plusieurs organismes au cours des quelque 20 années précédentes. Le type de construction des enceintes était varié : coffrages en bois posés au-dessus du sol, arches et auges en métal ondulé au-dessus du sol, canalisations en métal ondulé au-dessus ou à la surface du sol. La figure 2 montre l'un des types d'enceinte utilisés. L'isolant était constitué le plus souvent de fibre de verre et de vermiculite, mais la mousse de styrène et la laine minérale étaient utilisées. Les canalisations principales d'eau, les conduites de vapeur et de condensat étaient généralement faites en acier alors que les canalisations d'égout étaient en fonte. L'utilidor était chauffé à la vapeur. Les enceintes s'appuyaient sur des pilotis en acier, des remblais en gravier et des traverses en bois.

La figure 3 présente quelques photographies d'utilidors existant en 1975.

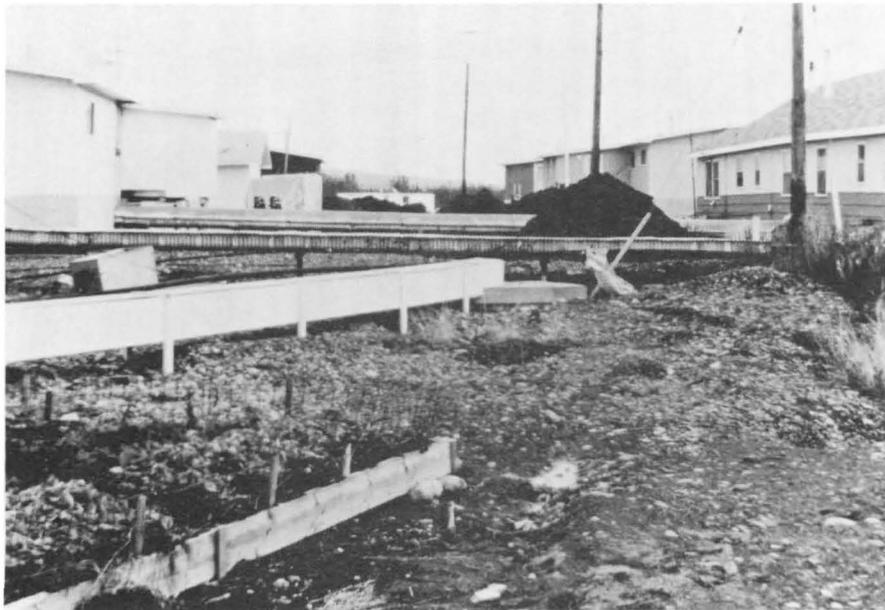
C. — Problèmes des services existants. — Durant l'hiver 1975-76, l'auteur de cet exposé et les ingénieurs du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest ont fait plusieurs visites sur le terrain pour recueillir des renseignements, rassembler la documentation sur les réseaux d'utilidors existants et avoir des entretiens avec le personnel d'exploitation et d'entretien de même qu'avec les résidents.

Un certain nombre de problèmes majeurs ont été cernés :

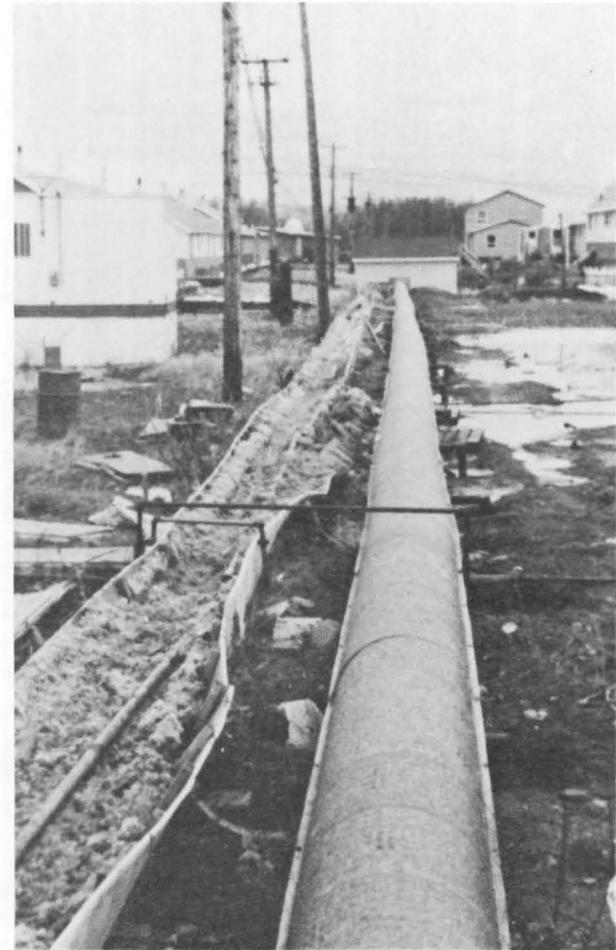
- 1) Il était impossible de sceller hermétiquement les enceintes en métal des utilidors du gouvernement des T.N.-O., pour les protéger contre les intempéries. En hiver, des vents froids se faufilaient au travers des enceintes; au printemps et en été, la pluie et la neige fondue y pénétraient en abîmaient l'isolant hygroscopique. Il en résultait des pertes excessives de chaleur et le gel était fréquent.
- 2) Les enceintes des utilidors exploités par les Travaux publics posaient encore plus de problèmes. Elles n'étaient pas hermétiquement closes et, de plus, certaines étaient complètement détériorées.
- 3) Les fondations étaient une source de problèmes dans les deux cas. Le soulèvement des piliers dû au gel et le tassement dû au dégel étaient communs. Dans certaines zones, il fallait couper les piliers de quelque 20 cm par an pour maintenir l'utilidor à niveau. Parfois, la pente des canalisations d'égout s'inversait, entraînant le blocage des canalisations.
- 4) L'isolant hygroscopique (fibre de verre et vermiculite), utilisé pour les deux réseaux, était endommagé par l'humidité. L'isolant non hygroscopique (mousse de styrène), qui protégeait les enceintes contenant les canalisations de vapeur, fondait sous l'effet de la chaleur.
- 5) Les canalisations de vapeur étaient corrodées par l'humidité qui pénétrait dans les enceintes.
- 6) La grande variété d'enceintes et de canalisations était un véritable cauchemar pour le personnel d'entretien qui devait stocker les éléments nécessaires aux réparations d'urgence. De plus, dans bon nombre d'enceintes, l'accès aux canalisations était difficile. Il fallait enlever une douzaine de boulons de 13 mm par des températures de  $-45^{\circ}\text{C}$  pour accéder à une vanne, et la partie supérieure de l'enceinte restait généralement déboulonnée jusqu'au printemps suivant.
- 7) La sécurité incendie était minimale. Le réseau exploité par Travaux publics Canada ne comportait qu'une colonne montante de 50 mm et quelques mètres de boyau. Les bornes d'incendie du système des T.N.-O. étaient également des colonnes montantes de 50 mm; elles étaient plus nombreuses mais gelaient facilement.
- 8) La capacité du réservoir de stockage était insuffisante pour répondre aux fluctuations de la demande et pour assurer le débit d'eau en cas d'incendie. De temps à autre, la localité manquait d'eau.
- 9) L'exutoire des fosses septiques était dans les deux cas un ouvrage peu esthétique et un lieu potentiellement dangereux pour ceux qui fréquentaient la rive du fleuve.

Après examen des difficultés, on a établi le programme suivant en vue de moderniser les services publics :

- 1) Le réseau d'utilidors de Travaux publics Canada serait remplacé par un nouveau système, qui relèverait du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest.
- 2) Le réseau d'utilidors du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest serait remplacé là où il le fallait; les branchements restants seraient modernisés pour rester en service.
- 3) Un nouveau réservoir de stockage serait construit.
- 4) Les fosses septiques et exutoires existants seraient contaminés; de nouvelles installations sanitaires seraient construites.



Réseau d'utilidors exploité par le gouvernement fédéral  
(canalisations de branchement)



Réseau fédéral



Réseau d'utilidors exploité par les T.N.-O. (Prises d'eau au premier plan)

Figure 3 Modèles d'utilidors existant vers 1975

## ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

**Objectifs en matière de conception.** — On a étudié les conditions de terrain et les réseaux d'utilidors existant à Norman Wells et on a fait un examen partiel d'autres systèmes, en exploitation ou en construction dans les Territoires du Nord-Ouest.

En s'appuyant sur cette étude, et après avoir consulté le gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, on s'est fixé un certain nombre d'objectifs en matière de conception :

- 1) Les réseaux de services publics devraient être simples. Ils devraient pouvoir être entretenus et exploités aisément, dans des conditions climatiques difficiles, par un personnel dont la formation et l'expérience seraient limitées, avec un minimum de ressources et de systèmes auxiliaires.
- 2) Il devrait y avoir, au moins un système auxiliaire pour chaque composante du réseau dans son ensemble.
- 3) Il faudrait viser une normalisation des composantes du réseau.
- 4) Le nouveau réseau devrait être conçu en fonction des facteurs suivants : courte saison de construction, moyens de transport limités, conditions climatiques difficiles, contraintes géotechniques, ressources locales limitées et coûts de construction élevés à Norman Wells.
- 5) On devait déterminer les composantes du réseau de façon à maximiser la fabrication en atelier et minimiser l'installation sur place.
- 6) Les réseaux devraient être conçus de façon à minimiser les coûts d'énergie pour le chauffage.
- 7) Le coût en capital du nouveau réseau devrait être aussi bas que possible, compte tenu des facteurs énoncés ci-dessus.

**Lignes directrices pour la conception des canalisations principales d'eau et d'égout.** — On a mis au point des lignes directrices pour la conception des canalisations principales d'eau et d'égout. Elles ont été formulées en fonction des données dont disposaient les concepteurs au début de 1976. En raison des délais extrêmement courts, il a fallu prendre un certain nombre de décisions à caractère subjectif, à partir d'une documentation quelquefois très limitée.

Les lignes directrices suivantes ont régi la conception des nouveaux réseaux de canalisation :

- 1) On devrait installer des réseaux souterrains partout où cela est possible, et ce pour diverses raisons : faibles besoins en énergie et en chauffage, réduction des dégâts dus au vandalisme et aux accidents, inconvénients moindres pour la circulation dans la localité, absence de problèmes d'esthétique et (on l'espérait), coût en capital plus bas.
- 2) Les réseaux souterrains devraient être conçus de manière à ce qu'il ne se produise pas de tassement progressif dû au dégel.
- 3) Dans les zones où les réseaux seraient construits au-dessus du sol, ils devraient s'appuyer sur des piliers capables de résister à toutes les forces (y compris les forces de gonflement dû au gel), sans mouvement progressif.
- 4) Aucune des canalisations principales d'eau ou d'égout ne devrait être chauffée électriquement. L'expérience du gouvernement en matière de rubans chauffants, qu'on les emploie en vue de protéger les canalisations contre le gel ou pour les dégeler, ont montré que cette méthode est extrêmement onéreuse, à cause du coût élevé de l'électricité par rapport à d'autres formes d'énergie, et parce que le personnel a tendance à laisser fonctionner le système quand cela n'est pas nécessaire. On considère que le chauffage à l'eau chaude ou à la vapeur n'est pas pratique dans ce contexte.
- 5) Il devrait exister des systèmes auxiliaires de dégel pour les canalisations principales d'eau et d'égout.
- 6) Il faudrait empêcher le gel des canalisations en chauffant l'eau à la source, en utilisant une forme d'énergie peu coûteuse et en faisant recirculer l'eau autant que possible. Il faudrait éviter les canalisations en cul-de-sac. Là où de nouvelles canalisations en cul-de-sac seraient nécessaires, on devrait maintenir un écoulement minimum en purgeant l'eau jusqu'aux collecteurs.
- 7) En cas de défaillance majeure du système, les canalisations principales d'eau devraient pouvoir être vidangées avant le blocage par le gel.
- 8) Il faudrait éviter dans la mesure du possible les systèmes mécaniques, comme les stations de relèvement du réseau d'égout.

Ces lignes directrices ont imposé de sévères contraintes aux concepteurs du système. Avant de procéder à l'étude conceptuelle, il a fallu résoudre deux questions cruciales : 1) Des réseaux souterrains conviennent-ils pour Norman Wells? 2) Quel matériau faut-il utiliser pour les canalisations, afin de respecter les lignes directrices et d'atteindre les objectifs?

**Réseaux souterrains à Norman Wells.** — Mise à part l'inclinaison pour l'auto-drainage des canalisations principales d'eau et d'égout, les facteurs déterminant la praticabilité de réseaux souterrains à Norman Wells étaient géotechniques. Une question très difficile se posait : comment installer des conduites d'eau chaude et d'égout dans un pergélisol riche en glace, tout en évitant le tassement progressif dû au dégel?

Pour obtenir l'avis de spécialistes des problèmes thermiques dans des conduites de pergélisol, on a pris contact avec EBA Engineering Consultants Limited.

On a mis au point un modèle mathématique géothermique à l'aide d'un puissant programme informatisé, bidimensionnel, à éléments finis, pour régimes non permanents, qui avait déjà été utilisé pour le projet de gazoduc de la vallée du Mackenzie. Les données d'entrée étaient les suivantes : données météorologiques périodiques sur Norman Wells; caractéristiques de la neige et de la surface du sol en fonction des données météorologiques; propriétés thermiques de couches de sol caractéristiques du site — état gelé et non gelé; propriétés thermiques de l'isolant proposé pour les tuyaux; température d'exploitation du système.

Les résultats des analyses ont montré que sur le site, avec un tuyau de 150 mm, un isolant en polyuréthane de 75 mm et une température constante d'exploitation de 16 °C, on observerait un tassement à long terme de 150 mm.

Cette estimation du tassement provoqué par le dégel supposait que les conditions suivantes étaient respectées : a) le réseau devait être construit en automne et en hiver, lorsque les températures moyennes de l'air sont inférieures au point de congélation, pour minimiser les perturbations thermiques pendant la construction; b) les matières organiques enlevées pendant l'excavation devaient être remplacées au moment du remblayage; c) il devait y avoir sous les canalisations un lit d'un matériau non gélif d'au moins 150 mm; d) il fallait éviter les perturbations thermiques majeures en surface, dans les zones de servitude.

On a conclu qu'il ne serait pas judicieux d'aménager des réseaux souterrains dans les conditions suivantes : épaisses couches de matières organiques où l'écoulement des eaux est difficile, couvertures granulaires contenant du roc massif, ou sources continues de chaleur externe (purgeurs de vapeur à flotteur inversé, par exemple).

Après avoir étudié les conditions géotechniques et l'inclinaison, on a décidé de remplacer l'ancien réseau d'utilidors de Travaux publics Canada par un réseau souterrain. Dans les autres zones, il faudrait construire le système au-dessus du sol

**Matériaux des canalisations.** — On a étudié divers matériaux pour le nouveau réseau : chlorure de polyvinyle, amiante-ciment, fonte, polyéthylène à densité élevée, fonte ductile et acier.

Chaque matériau a été évalué en fonction de certains critères. S'appliquant aussi bien aux réseaux souterrains qu'à ceux construits au-dessus du sol :

- 1) le tuyau devait avoir fait ses preuves dans des cas semblables;
- 2) les tuyaux qui ne seraient pas équipés d'un système de rubans chauffants devaient pouvoir être dégelés par des moyens conventionnels (apport d'énergie ou de vapeur);
- 3) les conduites d'eau ne devaient pas requérir de bloc d'ancrage à cause des conséquences du dégel dans le cas des réseaux souterrains et à cause de la minceur des piliers dans le cas des réseaux installés au-dessus du sol;
- 4) les tuyaux des réseaux au-dessus du sol devaient être très résistants pour permettre un espacement maximum des piliers sans avoir à prévoir de supports longitudinaux secondaires;
- 5) les tuyaux des réseaux posés au-dessus du sol devaient avoir un faible coefficient de dilatation thermique;
- 6) les tuyaux devaient avoir une longévité d'au moins 20 ans;
- 7) les tuyaux devaient pouvoir résister au gel;
- 8) l'eau étant sous pression, on devait pouvoir raccorder facilement un branchement;
- 9) les composantes des réseaux souterrains devaient pouvoir subir un tassement dû au dégel atteignant 150 mm.

Aucun des matériaux existants ne satisfaisait à toutes ces exigences, mais certains ont pu être rapidement écartés. On a retenu uniquement le polyéthylène à densité élevée et l'acier pour les réseaux souterrains, la fonte ductile et l'acier pour les réseaux au-dessus du sol. On a décidé, subjectivement, d'adopter un tuyau en acier soudé sans revêtement, de calibre 80, pour l'ensemble du système. Ce matériau était compatible avec les matériaux des systèmes existants d'alimentation en eau et de distribution.

### CONCEPTION DU NOUVEAU RÉSEAU DE SERVICES PUBLICS

**Information générale.** — Une fois qu'on eut reconnu les contraintes géotechniques et déterminé le matériau des tuyaux, la conception a rapidement progressé.

À des fins d'économie, on a incorporé au nouveau réseau les sections existantes de l'utilidor du gouvernement des T.N.O., chaque fois que cela était possible. On a fait reposer sur les mêmes piliers les canalisations d'eau et d'égout des sections au-dessus du sol et on a placé dans une tranchée commune les canalisations souterraines.

La capacité nominale des réseaux d'eau et d'égout était supérieure à 400 m<sup>3</sup> par jour, alors que la charge et la demande réelles étaient de l'ordre de 170 m<sup>3</sup> par jour.

**Réseau de distribution d'eau.** — Le concept définitif du réseau de distribution est présenté à la figure 4. Les principaux éléments sont les suivants : canalisation distributrice avec une seule boucle de recirculation, installation de pré-chauffage de l'eau et pompes de circulation situées dans la station de pompage existante, grand réservoir d'eau chaude.

L'eau traitée en provenance d'Imperial Oil est portée à environ 10 °C (si nécessaire) et stockée dans le réservoir. À partir de ce point, elle circule dans la boucle de distribution puis revient au réservoir. Les capacités de chauffage sont suffisantes pour maintenir la température du réservoir et des canalisations principales, et pour assurer le chauffage de toutes les canalisations de branchement actuelles et futures, par recirculation de l'eau.

Bien que le réseau de distribution consiste essentiellement en une simple boucle, il comporte inévitablement trois culs-de-sac. Le nouveau branchement à l'extrémité nord-est du réseau est chauffé par purge jusqu'au réseau d'égout, et deux canalisations de branchement antérieures à 1975 au centre-sud de la localité sont encore chauffées par eau chaude. On pourrait les équiper de petites pompes de circulation et de canalisations de retour de petit diamètre, en vue de modifier le système de chauffage. On prévoit pouvoir aisément adjoindre une seconde boucle de circulation, qui servirait le développement futur de la localité au nord-ouest. Des canalisations souterraines viendront remplacer le réseau exploité par Travaux publics Canada.

Les données fondamentales du nouveau système sont les suivantes :

- 1) Toutes les canalisations de distribution sont inclinées vers des soupapes d'évacuation, pour qu'on puisse les vidanger facilement en cas de panne;
- 2) Toutes les prises d'eau sont branchées en direct pour que la circulation normale de l'eau suffise à empêcher le gel. Chacune dessert une zone ayant un rayon maximum de 76 m;
- 3) La tuyauterie de la station de pompage sur pression permet d'alimenter les deux extrémités de la boucle de circulation, en cas d'incendie ou de gel;
- 4) Les canalisations distributrices ne comportent pas de joints de dilatation, ce qui élimine le besoin d'ancrer les canalisations ou de bloquer la poussée. Les systèmes de support souples placés au-dessus du sol et les canalisations de branchement sont conçus en fonction de la dilatation thermique;
- 5) La tuyauterie est équipée de conducteurs pour permettre de la dégeler en faisant passer du courant électrique dans de petites sections.

**Réseau d'égout.** — Le concept final du réseau d'égout est présenté à la figure 5. Les principaux objectifs étaient les suivants : travaux de terrassement bien faits et installations d'évacuation améliorées. Toutes les eaux d'égout sont acheminées vers un exutoire commun et les installations comprennent un dilacérateur et un tuyau d'évacuation immergé se prolongeant bien au-delà de la rive.

Les sections du réseau d'égout qui se trouvent au-dessus du sol s'appuient sur les mêmes supports que les canalisations d'eau; les sections souterraines sont généralement placées dans les mêmes tranchées que les canalisations d'eau.

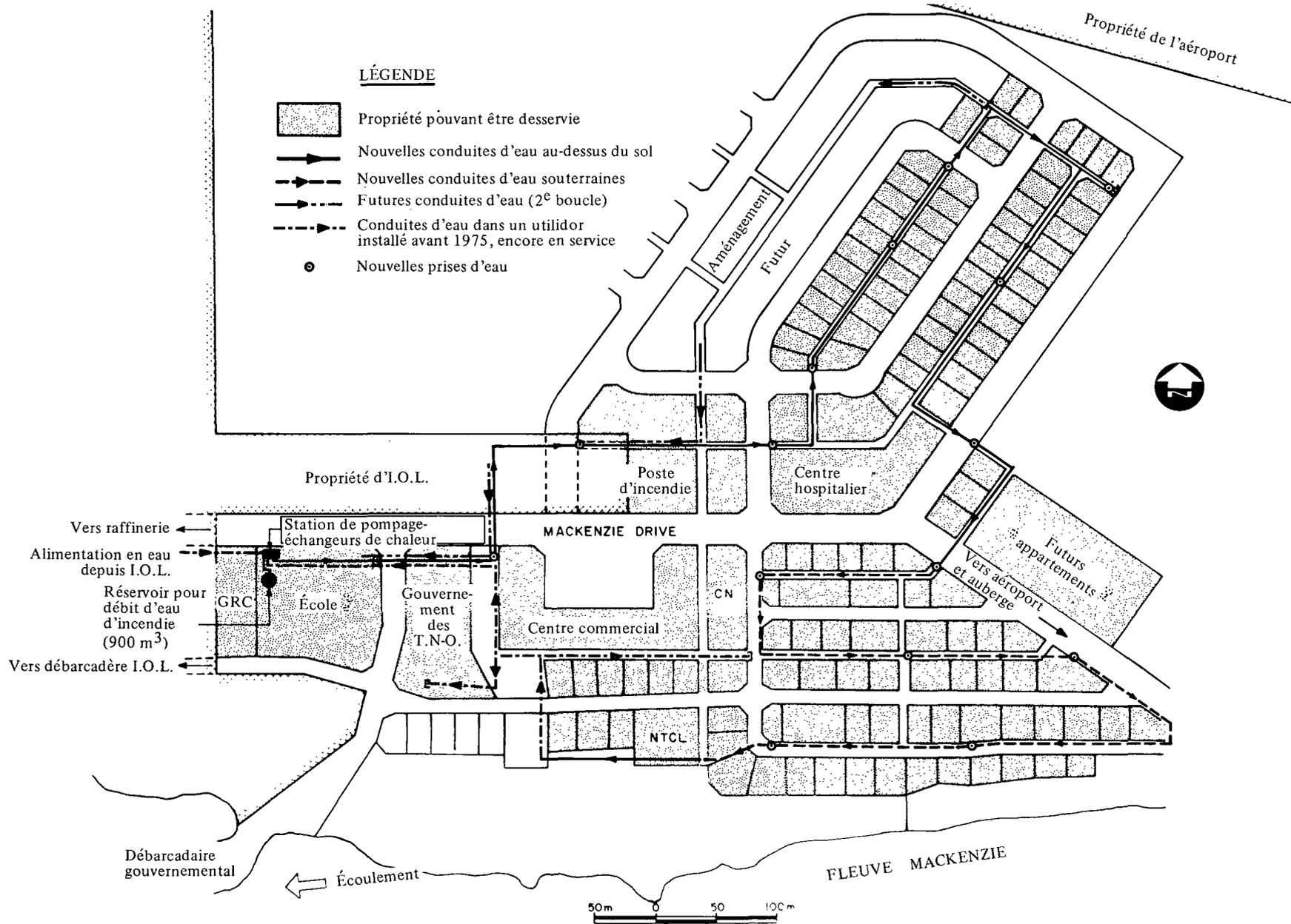


Figure 4 Réseau de distribution de Norman Wells, T.N.-O. (1978)

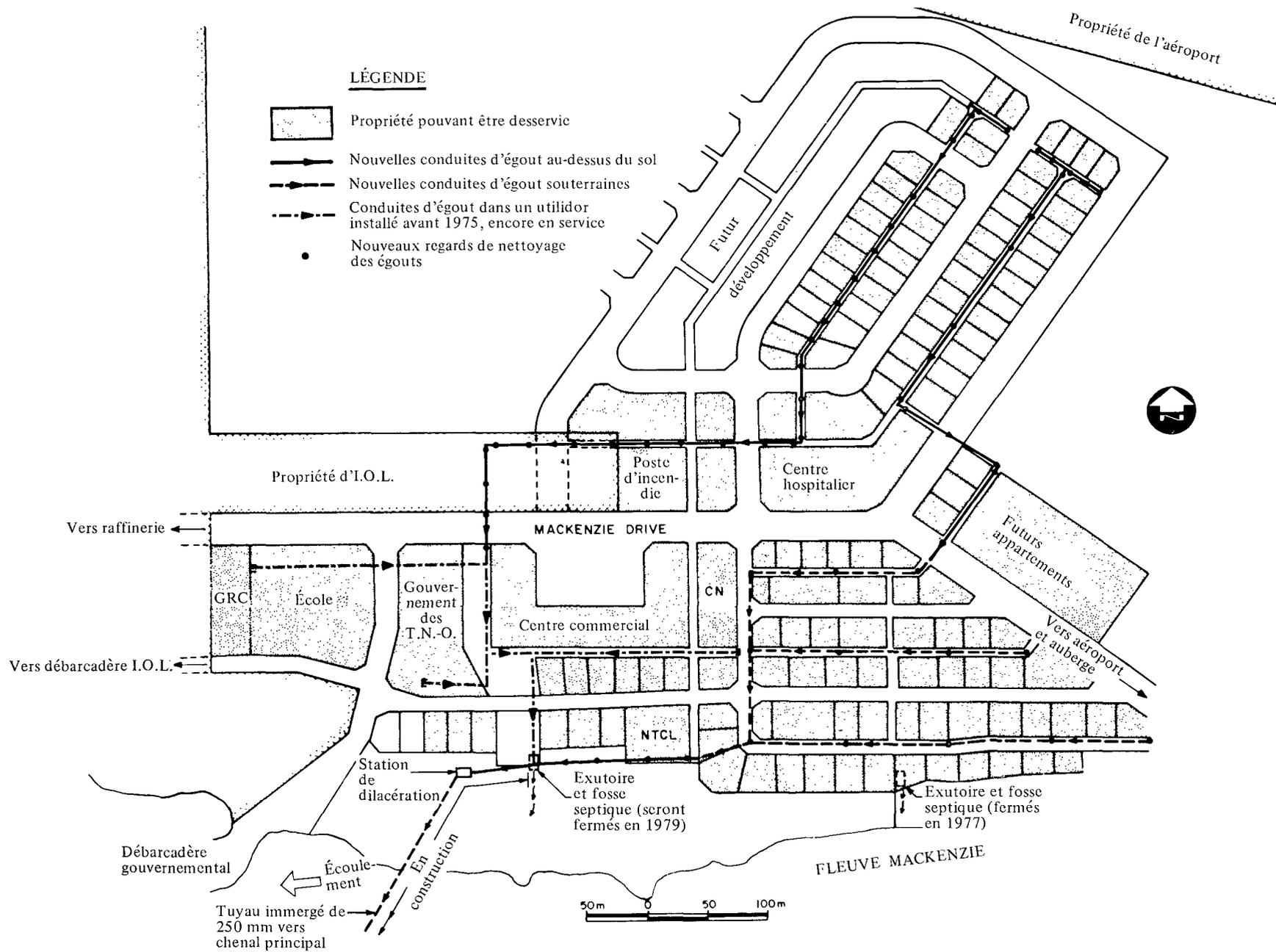


Figure 5 Réseau d'égout de Norman Wells, T.N.O. (1978)

Principaux éléments du système :

- 1) Le réseau d'égout est un système fermé. Toutes les canalisations sont sous pression; il n'y a aucun regard de service à ciel ouvert. L'aération se fait par des services internes aux bâtiments. Ce type de réseau a été choisi pour réduire les pertes de chaleur dans les sols riches en glace et pour éliminer les infiltrations d'eau souterraine;
- 2) Le réseau n'est équipé d'aucun système de chauffage auxiliaire. On peut dégeler les conduites au moyen d'un dispositif générateur de vapeur portatif, fonctionnant au mazout;
- 3) Les pentes sont maximales. La valeur d'étude minimale est de 0,75 p. cent;
- 4) Des regards de nettoyage sont prévus à des intervalles ne dépassant pas 80 m;
- 5) Les canalisations ne comportent aucun joint de dilatation. Les systèmes souples de support au-dessus du sol et les canalisations de branchement sont conçus en tenant compte de la dilatation thermique.

### DÉTAIL DE LA CONCEPTION

**Information générale.** — L'étude des réseaux de services publics construits dans le passé dans le Nord fait clairement ressortir le point suivant :

Bien que le concept général du système soit important, un soin particulier doit être apporté au détail de la conception. En effet, la plupart des défauts survenus résultent plutôt d'une connaissance insuffisante des aspects liés à l'environnement que d'une conception inadéquate.

En dehors des contraintes climatiques et géotechniques, les facteurs humains et les ressources limitées dont on dispose font souvent qu'un aspect de la conception ou une composante du réseau, standard dans le Sud, deviennent inacceptables et impraticables dans le Nord. Concevoir un réseau de services bien adapté au Nord demande un esprit d'innovation, du bon sens, une certaine connaissance du milieu humain et de l'environnement où le réseau sera construit . . . et beaucoup de chance.

Un certain nombre de détails de conception des réseaux de Norman Wells sont présentés ci-dessous, accompagnés de commentaires explicatifs. Même si les composantes retenues ont donné satisfaction, on doit se garder de généraliser et de les appliquer indifféremment à n'importe quelle situation.

**Configuration des canalisations principales et des branchements.** — La figure 6 montre une coupe transversale de canalisations principales et des branchements.

A. — Canalisations principales au-dessus du sol. — On a choisi pour les canalisations au-dessus du sol le tuyau isolé Shaw "Spiral 8" fait d'un tuyau acier de calibre 80, de 150 mm ou 200 mm, recouvert en usine d'un isolant en mousse de polyuréthane de 75 mm et d'une gaine en spirale, en acier galvanisé.

Les tuyaux isolés devaient être expédiés en deux longueurs non déterminées, avec des demi-coquilles préfabriquées en polyuréthane et des manchons galvanisés, pour le raccordement sur place. On devait effectuer les raccords par soudure, et fixer les manchons galvanisés sur les demi-coquilles au moyen de bandes en acier inoxydable et de vis à tôles posées sur les joints à recouvrement longitudinaux. Tous les joints devaient être calfeutrés avec un mastic composé souple de bonne qualité.

On a adopté ce système de tuyaux isolés et de raccordement parce qu'il procure un réseau à l'épreuve des intempéries, relativement bien protégé contre les actes de vandalisme et ne nécessitant qu'un minimum de travail sur place. De plus, on pouvait faire l'économie du support structural longitudinal ou d'une enceinte séparée.

Pour permettre les mouvements dus aux influences thermiques (jusqu'à 200 mm sur certains parcours), sans avoir à utiliser de boucles ou de joints de dilatation coûteux, on a laissé se mouvoir librement les tuyaux isolés sur leurs supports. À cette fin, on les a posés sur les supports à rouleaux suspendus à des poutres transversales par des tiges filetées qui devaient permettre d'ajuster par la suite les composantes du réseau en tenant compte des variations de niveaux.

Vu les problèmes passés, on a consacré le plus grand soin à la conception de pilotis qui ne soient pas sujets au soulèvement dû au gel. On a mené une enquête géotechnique et on a élaboré un concept à partir de travaux expérimentaux antérieurs (dont des essais de traction effectués à Norman Wells).

Principaux éléments du système :

- 1) On a choisi pour les pilotis des tuyaux en acier de 100 mm, mis en place par forage, à la suite d'une étude des matériaux et de l'équipement de forage disponible à Norman Wells;

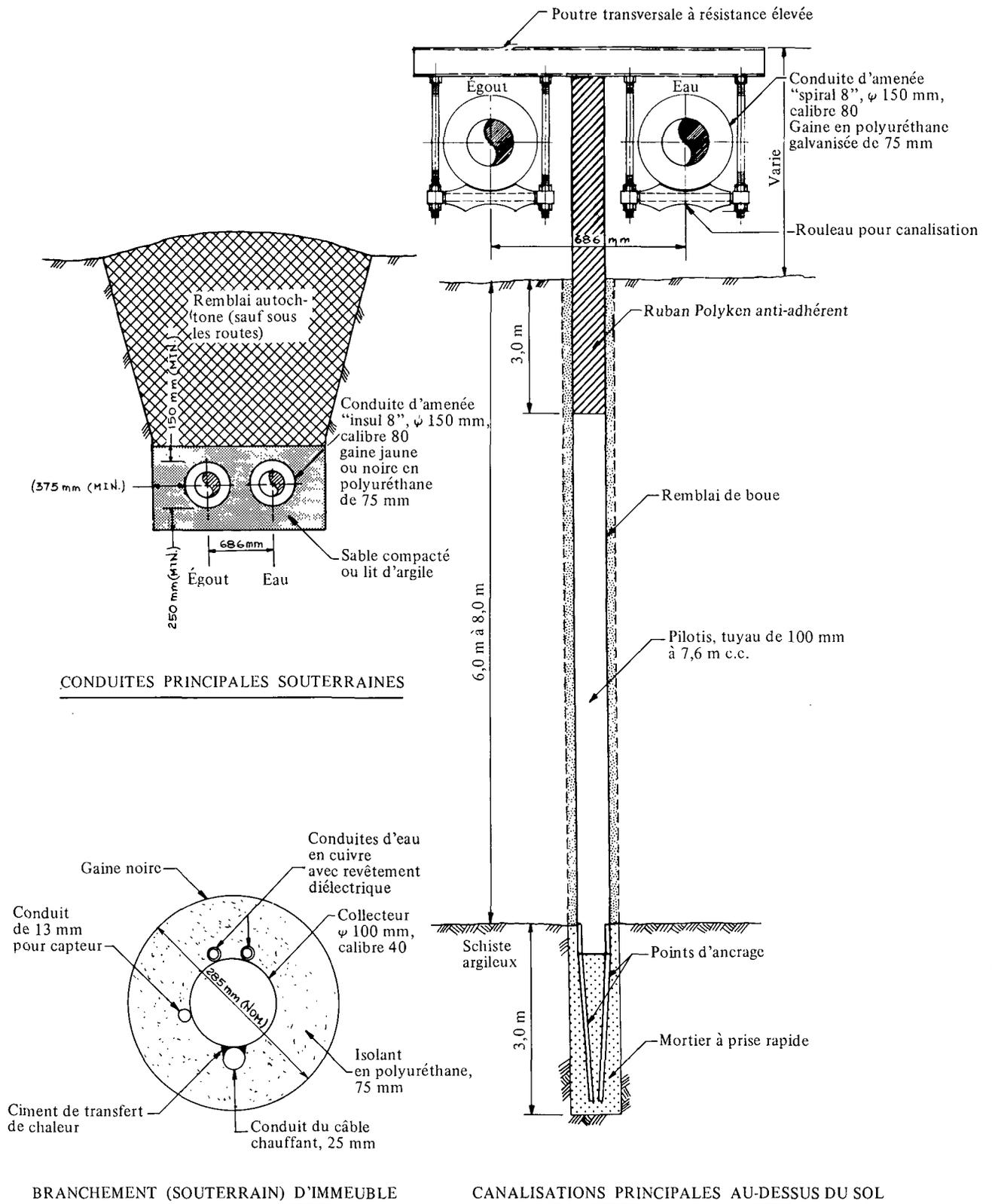


Figure 6 Coupes caractéristiques des nouveaux réseaux d'eau et d'égout (1975-1978)

- 2) La partie supérieure des pilotis a été entourée d'un ruban lisse en polyéthylène à densité élevée, sur une longueur de 3 à 4 m, pour réduire l'adhérence à la couche active;
- 3) Les pilotis ont été équipés de fixations jointoyées, ancrées sur une longueur de 3 m dans l'assise de schiste argileux. Les points d'ancrage ont été conçus pour résister à des forces de soulèvement de l'ordre de 90 kN; elles ont impliqué l'utilisation d'un mortier liquide préchauffé, à prise rapide, non rétrécissable, dans un logement gelé.

La figure 7 montre les pilotis et les canalisations principales, une fois la construction terminée.

B. — Canalisations principales souterraines. — Pour les canalisations principales souterraines, on a choisi le tuyau pré-isolé Shaw "Insul-8" fait d'un tuyau en acier de 150 mm, de calibre 80, recouvert en usine d'un isolant en mousse de polyuréthane et d'une gaine jaune ou noire. Ces tuyaux pré-isolés ont été expédiés en deux longueurs; le raccordement sur le chantier a été fait par soudure et les joints ont été recouverts de demi-coquilles préfabriquées et de manchons en polyéthylène thermorétractibles.

On a adopté ce système de tuyau pré-isolé et de raccordement parce qu'il permettait de concevoir un ouvrage relativement étanche à l'eau, capable de résister au tassement dû au dégel et ne nécessitant qu'un minimum de travail sur place.

Les dimensions et la qualité du matériau d'assise ont été déterminées en fonction des conditions géothermiques et de la protection requise pour l'enveloppe en polyéthylène relativement fine recouvrant les tuyaux isolés. L'assise devait pouvoir résister au gel, avoir une dimension nominale inférieure à 6 mm et de préférence, ne pas présenter d'angles. On avait prévu comme matériaux de remblayage du sable propre et du schiste argileux trié. Cependant, l'entrepreneur chargé des travaux ayant négligé de se procurer à temps ce type de matériaux, il a fallu utiliser du schiste argileux angulaire brut pour la plus grande partie de l'assise. En conséquence, on a dû mieux protéger la gaine et l'isolant recouvrant les tuyaux; on a eu recours à une enveloppe protectrice en fibre de verre imprégnée de goudron, épaisse de 5 mm.

Pour le remblayage, on a généralement utilisé un matériau autochtone gelé, les matières organiques étant remplacées sur la couche supérieure. Dans le cas des routes, par contre, on s'est servi d'argile compactée.

Comme on l'a mentionné plus haut, certaines routes étaient construites sur une couche isolante de déchets d'épingle. Pour remplacer cette couche protectrice, enlevée lors de l'excavation, on a posé un isolant en mousse de styrène dans les tranchées courant sous ces routes.

La figure 8 présente des aspects de l'installation des canalisations principales souterraines.

C. — Faisceau de tuyaux pour branchement (souterrain) d'immeuble. — La figure 6 illustre le principe ci-dessus mentionné. Là encore, on a utilisé un tuyau d'amenées "Insul-8" avec un isolant en polyuréthane de 75 mm.

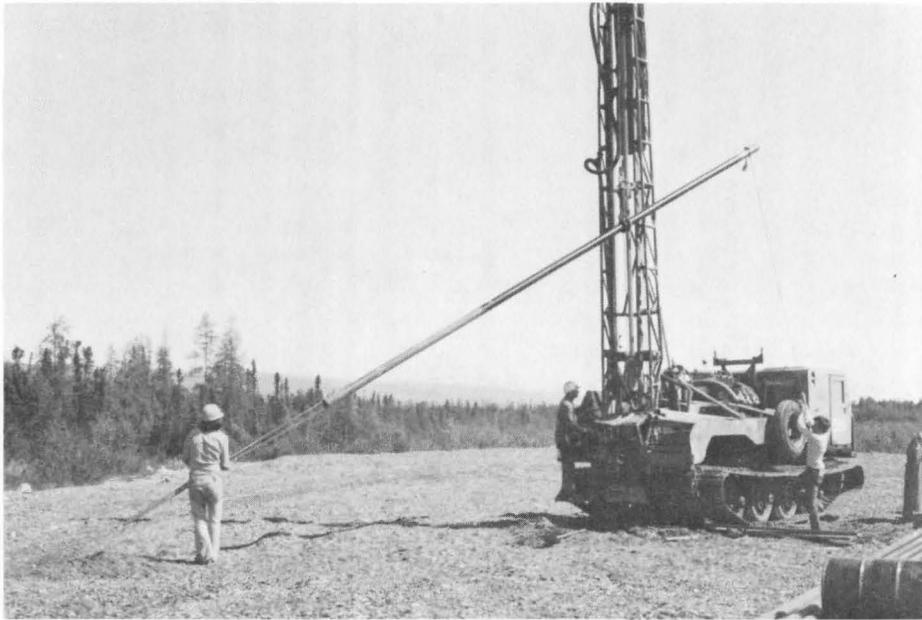
Les caractéristiques essentielles du système sont les suivantes :

- 1) Un câble chauffant de 13 W/m, placé au bas du tuyau d'égout en acier et commandé par thermostat, assure une protection supplémentaire contre le gel et peut dégeler les canalisations;
- 2) La conduite d'amenée comporte deux canalisations d'eau jumelées, en cuivre; les résidants installent des pompes de circulation, ce qui leur permet d'obtenir de l'eau chaude des canalisations principales et assure le chauffage de la conduite d'amenée;
- 3) Les canalisations d'eau sont protégées par un revêtement diélectrique, ce qui permet de les dégeler à l'électricité.

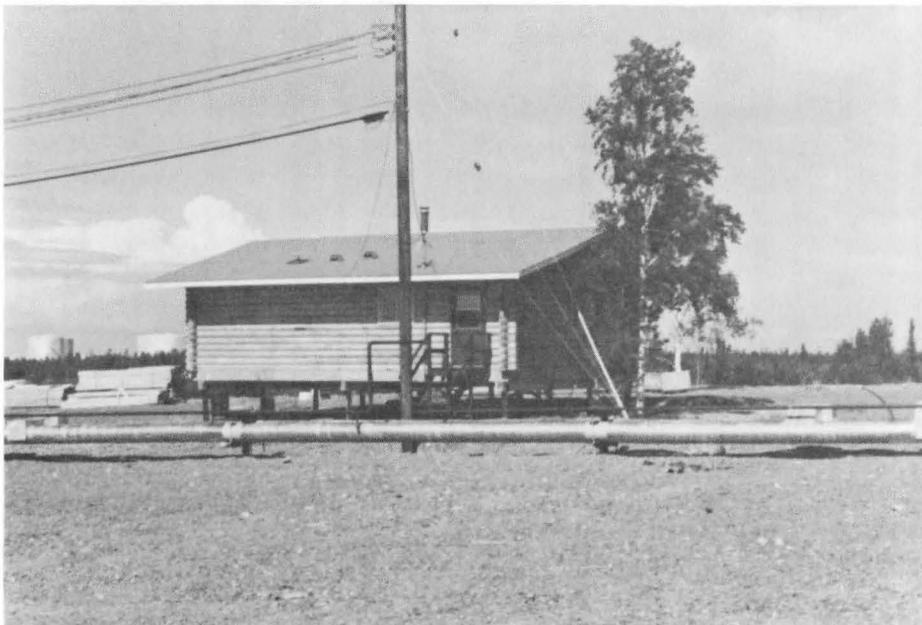
**Regards de service.** — La figure 9 présente des regards de visite types pour le service aux abonnés. On a suivi des critères de conception différents pour les boîtiers situés au-dessus du sol et les boîtiers souterrains.

A. — Regards de service au-dessus du sol. — La conception des regards de service installés au-dessus du sol a été une tâche difficile. Les concepteurs devaient non seulement minimiser les travaux à faire sur le terrain, faciliter l'accès et assurer la protection des regards contre les intempéries et le vandalisme, mais aussi tenir compte des mouvements dus aux influences thermiques, qui pourraient atteindre 7 cm entre les conduites principales d'eau et d'égout, suspendues séparément.

Les regards de service préfabriqués sont en acier galvanisé de calibre 16, faits de deux moitiés distinctes, reliées par un dispositif coulissant qui facilite le mouvement longitudinal. Des couvercles amovibles garantissent l'accès et l'ensemble est monté sur les canalisations à l'aide de bandes en acier inoxydable et de vis à tôles. Tous les joints entre les regards de service et les canalisations principales sont calfeutrés avec un mastic souple de très bonne qualité.



Installation des pilotis



Canalisations principales après les travaux

Figure 7 Canalisations principales construites au-dessus du sol

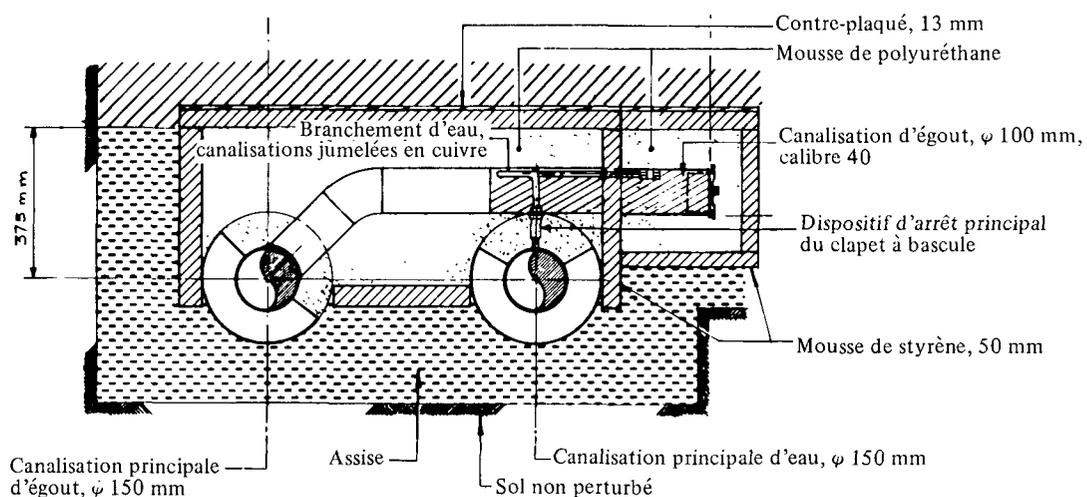


Travaux d'excavation

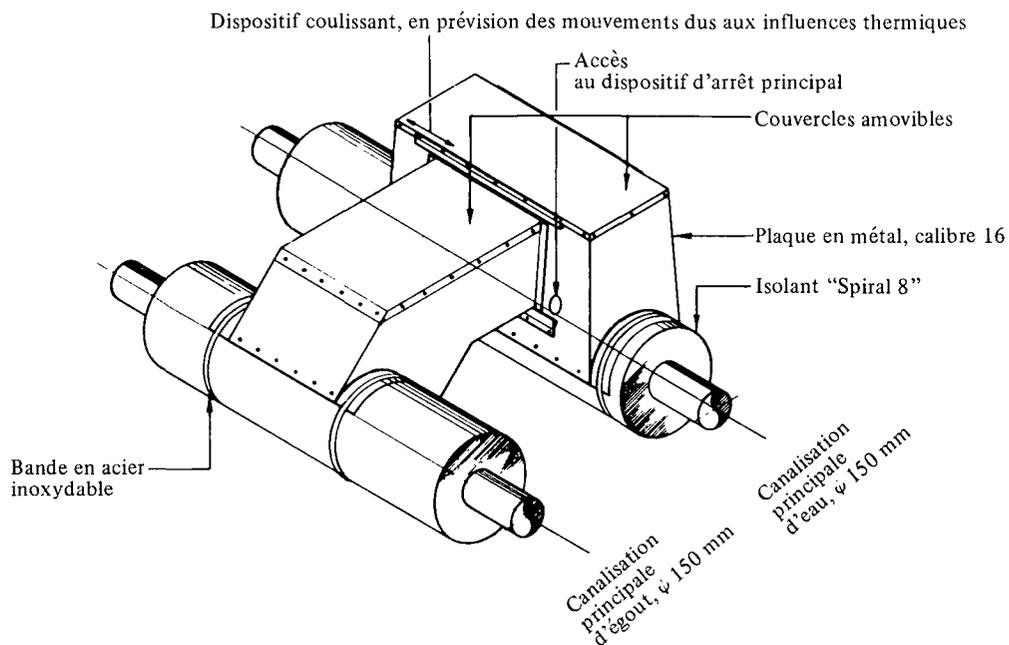


Regard de nettoyage et tuyau isolé

Figure 8 Canalisations principales souterraines



REGARD DE SERVICE SOUTERRAIN



REGARD DE SERVICE AU-DESSUS DU SOL

Figure 9 Regards de service types

La tuyauterie à passage direct des égouts a été soudée au conduit collecteur et on a utilisé des raccords à forme de col de cygne pour les canalisations jumelées d'eau, en cuivre souple, en prévision des mouvements dus aux influences thermiques.

Il a fallu choisir avec soin les matériaux isolants utilisés pour les regards. Dans la mesure du possible, on a appliqué sur place une mousse de polyuréthane ou on s'est servi de feuilles de mousse de styrène. On a eu recours à des billes de mousse de styrène dans les endroits où la liberté de mouvement était nécessaire. Différents regards de service, terminés ou en cours de construction, sont illustrés à la figure 10.

B. — Regards de service souterrains. — Trois critères principaux ont régi la conception des regards souterrains : facilité d'installation, solidité du dispositif et propriétés non hygroscopiques de l'isolant.

Le modèle type, illustré à la figure 9, est un boîtier en mousse de styrène à densité élevée, rempli de mousse de polyuréthane appliquée sur place et équipé d'un couvercle en contre-plaqué.

La mousse de polyuréthane a été utilisée essentiellement pour remplir les vides structurels, sa valeur isolante à long terme dans un milieu immergé étant réduite comparativement aux feuilles de mousse de styrène.

La différence de dilatation entre les canalisations d'eau et d'égout n'a pas été considérée comme un problème sérieux; néanmoins, on a équipé les canalisations d'eau de cols de cygne flexibles.

**Bornes d'incendie.** — Les figures 11 et 12 présentent des bornes d'incendie avec branchement souterrain ou au-dessus du sol.

A. — Bornes d'incendie branchées au-dessus du sol. — Les bornes d'incendie avec branchement au-dessus du sol sont logées dans des enceintes métalliques préfabriquées, dont la conception s'apparente à celle des regards de service pour branchements domestiques. Les enceintes sont dotées de portes à ouverture rapide, retenues par un loquet et une cheville.

Les bornes d'incendie comprennent un robinet d'équerre de 100 mm et un raccord jumelé standard. Le robinet d'équerre a été adopté parce qu'il est essentiellement auto-purgeant. Le robinet est installé aussi près que possible de la canalisation principale; ainsi, la chaleur engendrée par l'écoulement de l'eau dans la conduite empêche le gel de l'eau sous le siège du robinet.

B. — Bornes d'incendie avec branchement souterrain. — La conception de ces robinets et de leur branchement présentait elle aussi des difficultés. Elle était basée sur l'utilisation de bornes standard McAvity, branchées en direct, mais il a fallu modifier celles-ci pour les adapter aux conditions qui prévalent à Norman Wells.

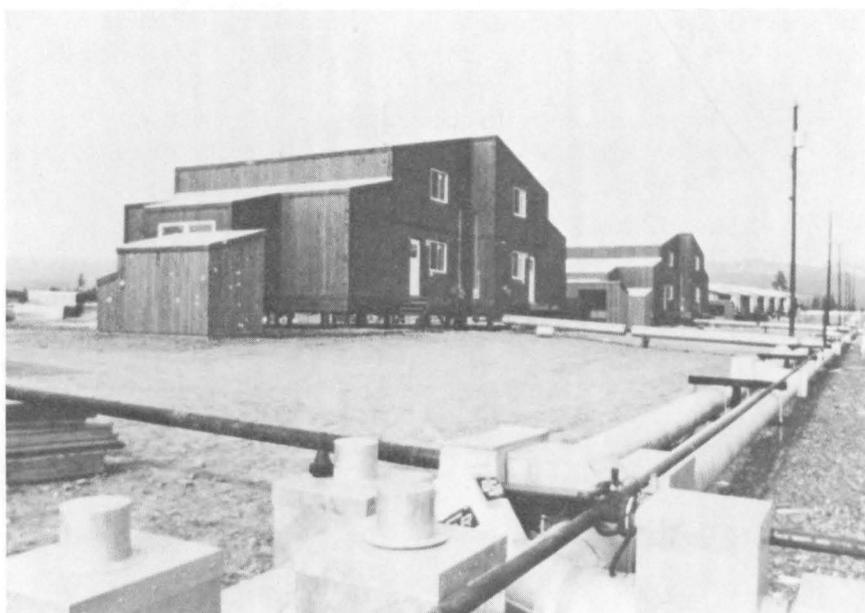
On a bouché les orifices de vidange des bornes d'incendie à cause des problèmes que pose le drainage du corps de la prise dans les sols gelés riches en glace. On a rempli les colonnes montantes des bornes d'incendie d'une solution de propylène-glycol, puis on les a isolées au moyen de demi-coquilles en polyuréthane, elles-mêmes protégées de l'humidité par des manchons en polyéthylène thermorétractibles. D'un point de vue opérationnel, on recommande que les colonnes montantes soient vidangées, puis remplies à nouveau de solution antigel après chaque usage. La gaine isolante permet un certain délai entre la fin d'un incendie et ces travaux d'entretien.

Autre problème : le possible soulèvement du corps de la prise dû au gel et les forces de traction résultantes pouvaient entraîner le bris du système de la prise d'eau. Pour réduire considérablement la poussée exercée sur le corps de la prise, on a adopté un manchon de tuyau de série 45 en polyéthylène à densité élevée, pourvu d'un bouchon métallique à la partie supérieure et d'un joint d'étanchéité à la partie inférieure, et recouvrant le corps isolé des prises d'eau. L'espace existant entre le manchon et le corps isolé est rempli d'un mélange composé d'huile et de cire, visant à empêcher l'altération de la prise d'eau due au gonflement par le gel.

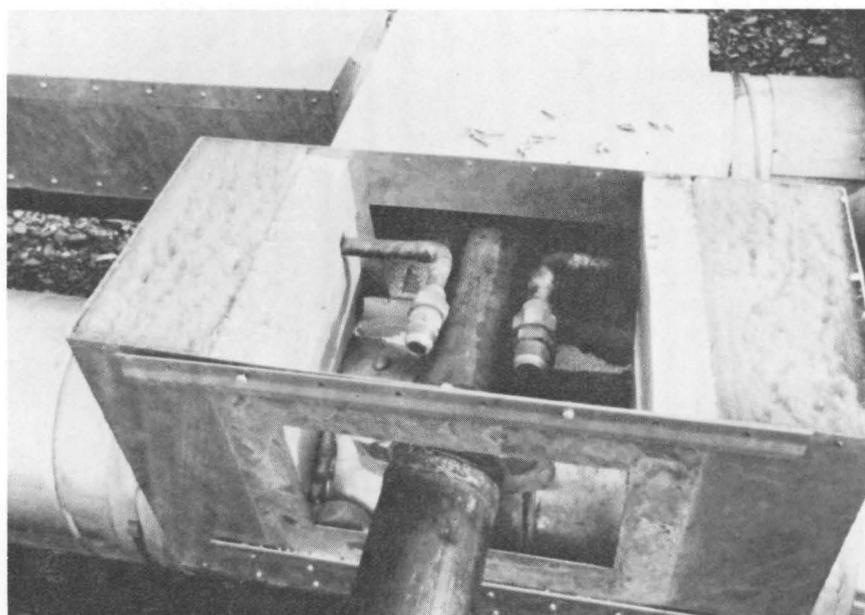
On a installé des demi-coquilles préfabriquées sur les branchements en T reliant les canalisations principales "Insul-8" aux prises d'eau. Un ruban en polyéthylène spécial a permis de protéger l'ensemble contre l'humidité.

**Croisements canalisation-route.** — Tous les réseaux de canalisation aménagés au-dessus du sol exigent certaines structures ou ponceaux là où les canalisations croisent les routes. Ces composantes sont onéreuses et posent fréquemment des problèmes d'entretien. Le type de structure utilisé à Norman Wells est présenté à la figure 13.

À cause des contraintes financières, on a décidé de ne pas aménager ces structures sur piliers, et d'accepter que certains travaux d'entretien périodique soient nécessaires après soulèvement ou tassement du sol. On a donc adopté une structure flexible pouvant être ajustée et entretenue avec un minimum de main-d'œuvre et d'équipement.



Vannes



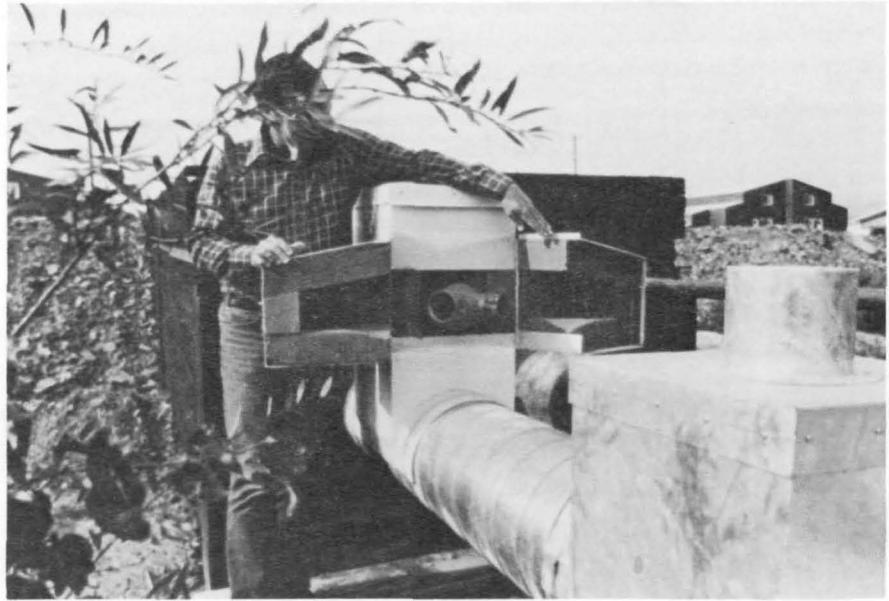
Branchement domestique

Figure 10 Regards de service au-dessus du sol



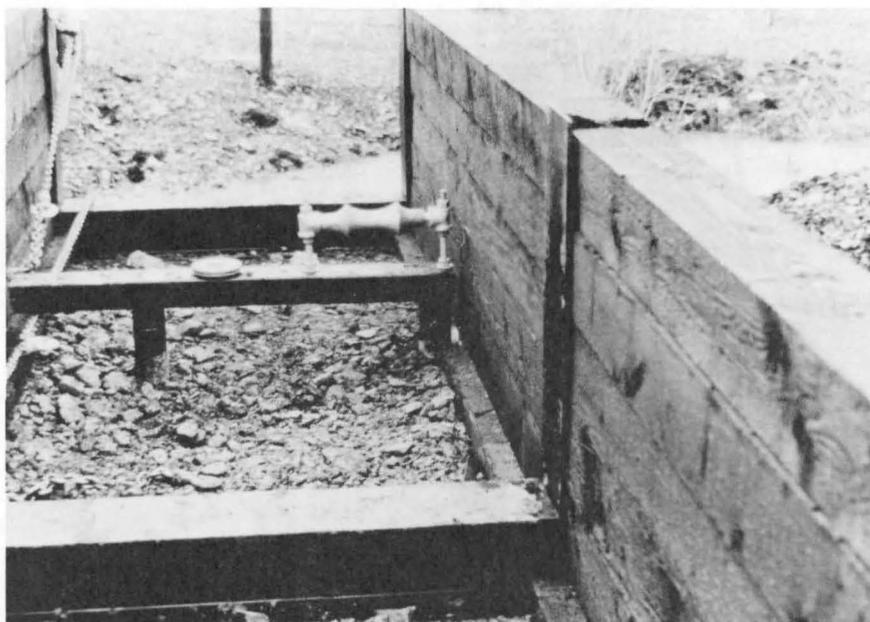


Branchement sous terre



Branchement au-dessus du sol

Figure 12 Bornes d'incendie types



Piliers, rouleaux et parois latérales mis en place



La canalisation devient souterraine au point d'intersection

Figure 13 Aménagement d'un croisement canalisation-route

Les structures ont été conçues pour des charges AASHTO HS20, et couvertes par un remblai de 0,2 à 0,6 m. Des profilés en U, fabriqués à partir de sections de piliers en H et espacés de 3,7 m centre à centre, absorbent les pressions latérales. Les parois latérales de 8 pi × 8 pi, en sapin douglas traité sous pression, sont fixées avec souplesse entre les brides des profilés adjacents en acier; des poutres de 3 pi × 12 pi, installées de la même façon, servent de point d'appui. Des cornières longitudinales en acier, soudées aux parties supérieure et inférieure des profilés en U, maintiennent constants l'espacement et l'alignement, tout en étant suffisamment souples pour s'accommoder du tassement dû au dégel. Les parties supérieures amovibles sont faites de panneaux de 1,9 m, fabriqués à partir de sections de 8 pi × 8 pi et de 3 pi × 12 pi, avec un revêtement étanche destiné à réduire l'écoulement d'eau sur les installations. Des espaces verticaux relativement importants ont été laissés libres entre les canalisations construites sur piliers et les traverses sans piliers, pour permettre les mouvements dus aux influences thermiques.

Les structures prenaient appui sur une assise de schiste argileux compact, épais de 0,3 m. L'installation a pu se faire très rapidement car les structures étaient préfabriquées et prêtes à être mises en place.

**Regards de nettoyage pour les égouts souterrains.** — Comme on l'a déjà mentionné, les regards de service classiques n'ont pas été utilisés à Norman Wells. Le type de regard de nettoyage des égouts est présenté à la figure 14.

Le modèle est essentiellement un regard de service en acier avec un revêtement époxydique, composé de deux unités et comportant un regard de nettoyage étanche pour l'entretien des égouts. Les regards en béton n'ont pas été adoptés pour deux raisons : difficultés d'expédition des éléments préfabriqués en raison des distances, et absence d'un agrégat qui convienne à ce genre de travaux à Norman Wells.

Principales caractéristiques de conception des regards de nettoyage :

- 1) On a conçu une installation en deux unités pour réduire la transmission des forces de soulèvement à la canalisation principale. Pour la même raison, on a prévu un rétrécissement d'au moins 10° dans les sections coniques supérieures.
- 2) On a utilisé des garnitures d'étanchéité boulonnées et amovibles pour sceller les parties supérieure et inférieure du regard.
- 3) Les parois supérieure et latérales du regard de nettoyage ont été isolées pour ralentir le transfert de chaleur entre la surface et le pergélisol.
- 4) L'isolant qui entoure la canalisation d'égout et sous-tend la base du regard réduit le transfert de la chaleur de la canalisation d'égout au sous-sol; le regard étant fermé hermétiquement, les eaux d'égout ne sauraient s'y accumuler.
- 5) Les couvercles étanches des regards de nettoyage permettent au personnel d'entretien de détecter toute surcharge.

**Réservoir de stockage.** — Le site potentiel du réservoir de stockage était l'un des pires qui soient à Norman Wells. Une étude géotechnique devait révéler la présence de couches organiques jusqu'à une profondeur de 2,1 m au plus, sous-tendues par des limons argileux et d'argiles limoneuses sensibles au gel, à forte teneur en humidité. L'assise rocheuse était plus profonde que d'habitude à Norman Wells et se situait en moyenne à 8,9 m sous la surface.

En raison des coûts élevés qu'impliquait l'installation d'un réservoir de 900 m<sup>3</sup>, on a étudié en détail trois types de fondations, avec l'aide d'un conseiller en géothermie : une dalle structurale avec piliers prenant appui sur l'assise rocheuse; une semelle de fondation équipée de tuyaux de chauffage; une semelle de fondation chauffée par convection au moyen de conduits de ventilation.

L'option semelle ventilée a été éliminée parce ce que le site était trop rapproché du lieu de futures constructions. L'analyse géothermique détaillée, faite sur ordinateur, a porté uniquement sur la semelle de fondation équipée de tuyaux chauffants.

Les premières études de conception ont porté tant sur un système à piliers de soutènement que sur un système de semelle à tuyaux chauffants. L'option avec tuyaux chauffants a finalement été adoptée, une estimation des coûts ayant indiqué qu'elle permettait une économie de 50 p. cent.

La semelle de fondation était conçue pour une température de fonctionnement du réservoir égale à 13 °C. Les travaux suivants devaient être exécutés :

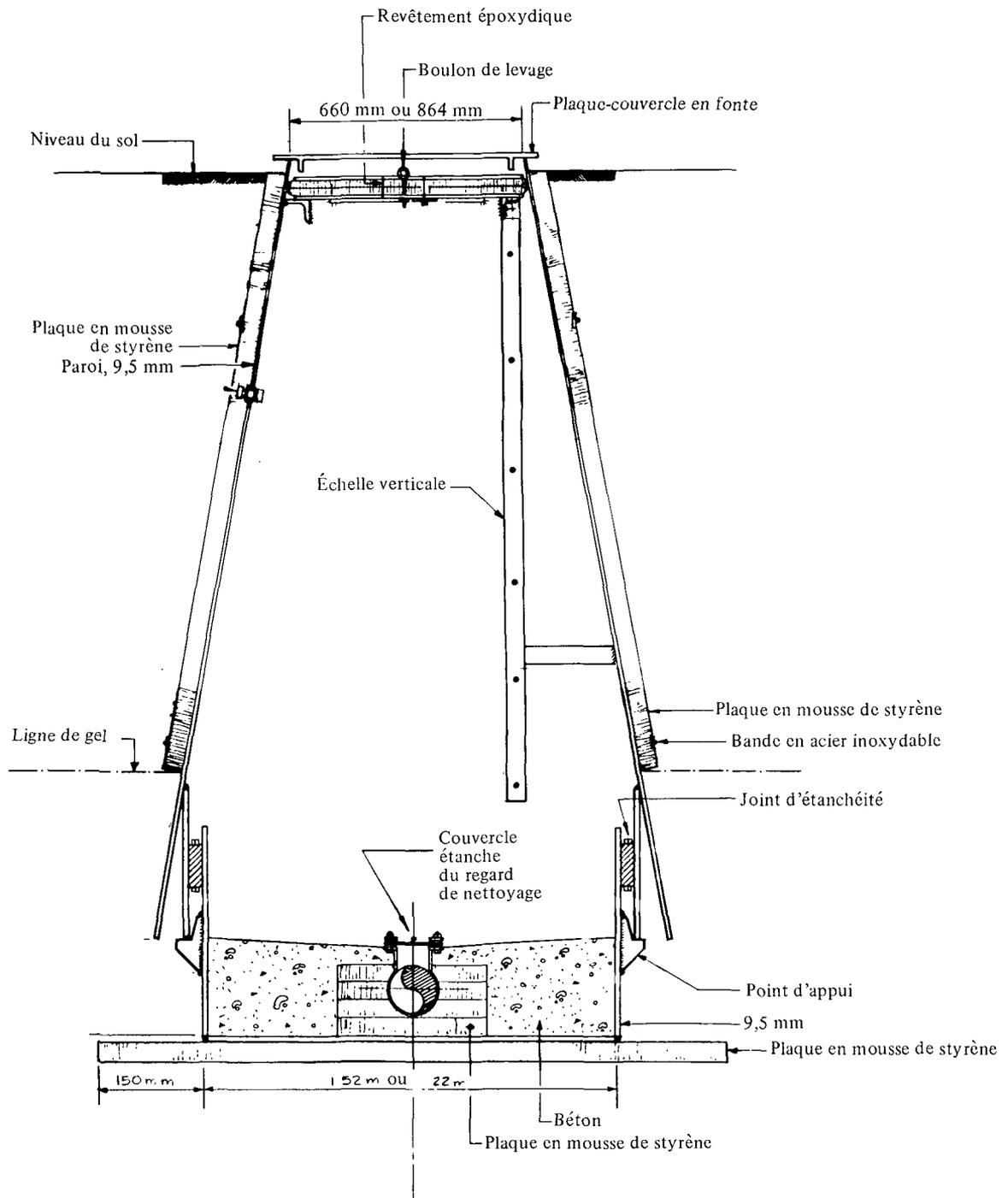


Figure 14 Regard de nettoyage d'un égout souterrain

- 1) Excavation de tout le sol local et des matières organiques jusqu'à une profondeur prévue de dégel de 3 m (à effectuer en automne, de manière que le sous-sol ne fonde pas).
- 2) À la fin de l'automne, il faudrait remblayer le terrain avec des matières granulaires non gélives, appliquées en couches fines et humidifiées, pour augmenter la teneur en humidité et, par conséquent, la chaleur volumétrique latente. Des conduits en aluminium devraient être insérés dans le remblai, pour loger les tuyaux chauffants.
- 3) Après avoir laissé le remblai geler pendant plusieurs mois, il faudrait poser à la fin de l'hiver un isolant de 150 mm en mousse de styrène à résistance élevée, recouvert d'une couche de sable.
- 4) Une fois le réservoir aménagé sur sa base d'appui au printemps et en été, il faudrait installer les tuyaux chauffants (McDonnell-Douglas "Cryo-Anchors") dans les conduits, les jointoyer avec une bentonite peu épaisse, puis mettre en marche le système.

Le réservoir presque terminé et les "Cryo-Anchors" sont présentés à la figure 15.

Par économie, on a choisi de stocker l'eau dans un réservoir cylindrique standard en acier API 650, pour produits pétroliers. On a revêtu l'intérieur du réservoir d'une couche d'époxyde et on a isolé l'extérieur par vaporisation d'une couche de polyuréthane de 64 mm posée. On a isolé le toit avec un composé élastomérique, et on a protégé l'isolant des parois contre les actes de vandalisme au moyen d'un revêtement métallique préfabriqué, fixé sur le pourtour. Des sections de radiateur "Cryo-Anchor" ont été suspendues aux parois du réservoir.

On a estimé que la température d'exploitation du réservoir devrait être de 10 °C. La chaleur est fournie par des canalisations de recirculation en provenance de la station de pompage de relais, adjacente au réservoir.

## CONSTRUCTION

**Information générale.** — La construction des réseaux d'eau et d'égout a commencé à l'été 1976; l'eau a circulé pour la première fois dans le réseau de distribution en avril 1977. Les travaux de construction ont pris fin à l'automne 1977.

La construction du réservoir a nécessité un certain nombre de contrats, allant de juillet 1977 à novembre 1978.

La construction de la station de rejet et de délacération des eaux usées a commencé en septembre 1978 et devrait être terminée en avril 1979.

**Réseaux souterrains.** — La phase la plus difficile de la construction a sans doute été l'aménagement des réseaux souterrains à l'automne et à l'hiver 1976-77.

L'équipement et les matériaux ont été livrés à la mi-septembre 1976. Dès que la température de l'air est descendue au-dessous du point de congélation, l'entrepreneur a commencé les travaux d'excavation à l'aide d'une grande pelle rétrocaveuse hydraulique de 1,9 m<sup>3</sup>. Les premiers 100 m de tranchée ont été creusés rapidement, puis les travaux ont pratiquement cessé de progresser par la suite d'une série de petits problèmes d'équipement, de personnel et de nivellement. Ces problèmes n'ont été résolus qu'après plusieurs semaines, alors que la belle saison était passée et que la profondeur du gel s'était considérablement accrue. En dépit de travaux de pré-broyage et de pré-concassage, l'excavation est devenue de plus en plus difficile. Il a fallu abandonner les travaux à la mi-décembre, par des températures de -40 °C, alors qu'ils n'étaient qu'à moitié terminés.

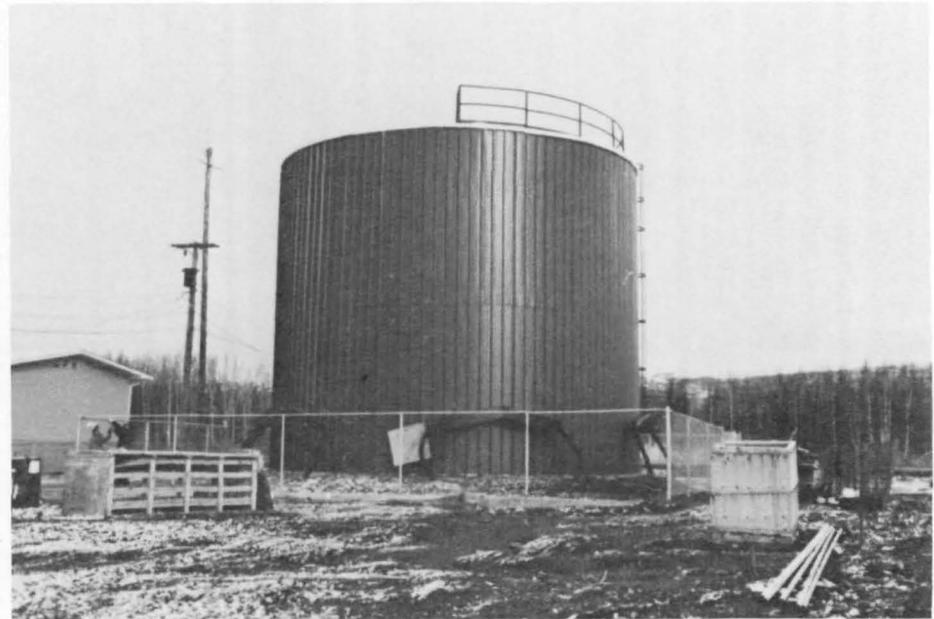
Les travaux ont repris à la fin février 1977 et le dynamitage du sol a permis de progresser rapidement. Cependant, le printemps précoce (soleil et eau de fonte) a provoqué de sérieuses perturbations thermiques dans les tranchées pleines de glace. Les travaux ont été rapidement terminés, mais on appréhendait la suite.

**Mise en exploitation du réseau de distribution.** — La mise en exploitation du système en avril 1977 a révélé un sérieux défaut, provenant d'un élément qui avait fait ses preuves dans le Sud mais n'était pas adapté au Nord : les robinets-vannes en fonte AWWA. Pour mettre le système en marche, on a pompé rapidement de l'eau chaude dans les canalisations et on a vidangé les prises d'eau avant qu'elles ne gèlent. On a observé que l'eau, introduite dans le réseau à une température de 35°, pouvait atteindre -2 °C lorsqu'elle arrivait au point de purge. La température de l'air qui devançait l'eau à la sortie des tuyaux pouvait descendre jusqu'à -31 °C.

Réflexion faite, il est clair qu'un robinet en fonte ne saurait résister aux contraintes imposées à un réseau de canalisations construit à Norman Wells. Le choc thermique au moment de la mise en marche, le tassement dû au dégel et des techniques d'installation douteuses ont entraîné la défektivité d'un ensemble d'éléments régulateurs. Toute la robinetterie souterraine a donc été remplacée par des modèles en acier forgé.



Canalisations chauffantes "Cryo-Anchors"



Réservoir presque terminé

Figure 15 Réservoir de stockage de l'eau

## RENDEMENT DU RÉSEAU DE SERVICES PUBLICS

Vu le caractère unique de bon nombre de concepts et de composantes du réseau de Norman Wells, le personnel d'exploitation et de conception a tenu à exercer une surveillance continue. C'est pour cette raison qu'un certain nombre de stations à thermistors ont été installées lors de la construction du système.

On peut d'ores et déjà faire quelques commentaires préliminaires après la période d'observation relativement courte (moins de 2 ans) qui a suivi la mise en marche du système.

- 1) Les chutes de température dans le système de recirculation de l'eau sont beaucoup moins fortes que prévues. La différence de température entre l'eau d'alimentation et de retour est de 2 °C en hiver. Le réseau fonctionne normalement à une température plus élevée que nécessaire (17 °C à la sortie) à cause du chauffage à la vapeur. Un pré-chauffage aux stations auxiliaires de pompage est rarement nécessaire. Le système n'a jamais subi de gel.
- 2) Les sections du réseau d'égout qui ne sont pas chauffées posent rarement des problèmes. Il y a eu un cas de gel près de l'extrémité située en amont d'un branchement du réseau souterrain, et il a fallu faire une petite purge à la dernière maison du branchement. Les températures normales au point de rejet des eaux usées se situent autour de 15 °C.
- 3) Un thermistor installé sous un regard de nettoyage des égouts, dans un sol riche en glace, n'indique aucune avance du front de dégel par rapport à l'année précédente.
- 4) Les thermistors placés sous le réservoir de stockage d'eau de 900 m<sup>3</sup> indiquent que les tuyaux de chauffage fonctionnent correctement.
- 5) Un certain nombre de problèmes ont été rapportés au niveau des branchements domestiques, les câbles chauffants ayant grillé ou les pompes de circulation à faible puissance ayant cessé de fonctionner. Cependant, un seul cas de gel a été rapporté, qui s'est produit à la maison située au-delà de l'extrémité de la conduite d'amenée.
- 6) Les structures pour passage des routes semblent donner satisfaction. Une traverse, située près d'un purgeur de vapeur, a subi sans problème un tassement dû au dégel de l'ordre de 0,3 m.
- 7) Les regards de service situés au-dessus du sol semblent bien supporter les mouvements dus aux influences thermiques, à l'exception d'une canalisation où la neige accumulée a empêché la dilatation à un angle de 90°. Ceci a entraîné des différences excessives à l'extrémité de la canalisation, et donc la déformation de certains regards de service.

En général, le rendement du système a été meilleur que ce qu'on anticipait. Les concepteurs ont cependant noté certains problèmes, qui seront pris en considération si on doit planifier une expansion du réseau.

## COÛTS

Les coûts en capital reliés aux réseaux de services publics sont plus élevés dans le Nord que dans le Sud, à cause de l'éloignement et des conditions difficiles de la région. Les coûts unitaires types de certaines des composantes décrites dans le présent document sont présentés au tableau 1. Ces coûts incluent la fourniture de matériaux, l'installation et les études techniques finales.

Tableau 1 Coûts unitaires en capital

Composante	\$ par mètre (pied)	\$ par m <sup>3</sup> (gal US)
Canalisations souterraines principales d'eau et d'égout, de 150 mm, posées dans une tranchée commune, avec accessoires	\$577(\$176)	Sans objet
Canalisations principales d'eau et d'égout, de 150 mm, au-dessus du sol, avec accessoires	\$824(\$251)	Sans objet
Réservoir de stockage d'eau chauffée, isolé, d'une capacité de 900 m <sup>3</sup> , avec base d'appui et accessoires.	Sans objet	\$360(\$1,64)

Ces coûts semblent très raisonnables lorsqu'on les compare à ceux de réseaux de services aménagés dans d'autres localités éloignées.

Une fois le projet terminé, le coût total des réseaux de distribution d'eau et d'égout décrits ci-dessus sera de l'ordre de \$3,5 millions, incluant le coût de toutes les études techniques.

### **CONCLUSION**

L'auteur espère que les observations notées dans le présent exposé donnent un bon aperçu de l'approche adoptée pour concevoir les services municipaux à Norman Wells. Il souhaite que les réalisations et les difficultés liées à ce projet permettront de faire progresser la conception des réseaux de services publics pour les localités du Nord.

### **REMERCIEMENTS**

L'auteur tient à remercier M.A. Shevkenek du ministère des Travaux Publics du gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, pour sa contribution à la conception des installations de Norman Wells et à la préparation du présent exposé. Il veut aussi exprimer sa gratitude au regretté M. G. Goldschmidt, à qui on doit la conception de la plupart des composantes des réseaux de services.